

DOI: 10.18372/2310-5461.42.13747

УДК 004.7:519.87 (045)

І. Є. Терентьєва, канд. техн. наук
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-0391-5041
e-mail: i_terentyeva@nau.edu.ua

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОСТУПНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Вступ

У сучасному світі інформаційно-комунікаційні технології пронизують усі сфери людської діяльності. Телекомунікаційні мережі нового покоління є складними телекомунікаційними системами (ТКС), які складаються з великої кількості окремих пристроїв (контролерів, шлюзів, серверів тощо). Для роботи усієї мережі необхідна спільна робота окремих пристроїв, тому від надійності обладнання залежить доступність усієї мережі.

Для забезпечення відповідного рівня доступності ТКС [1] застосовуються різні види резервування, у тому числі структурне, або апаратне, резервування. Слід зазначити, що для оцінки доступності ТКС та найбільш прийняттого варіанту апаратного резервування необхідно мати математичні моделі процесу експлуатації та технічного обслуговування обладнання ТКС.

Доступність ТКС є комплексною характеристикою і залежить від ряду технічних показників, таких як інтенсивність відмов (надійність) обладнання, повнота контролю, час відновлення після настання відмови і тощо, тому й математичні моделі для оцінки доступності повинні враховувати велику кількість показників.

Оскільки встановити аналітичний взаємозв'язок між такими характеристиками не завжди можливо на практиці, у статті пропонується метод оцінки доступності ТКС з використанням імітаційного моделювання. Таким чином, тема статті є актуальною.

Аналіз публікацій та формулювання мети дослідження

На теперішній час відомо ряд робіт, в яких розроблено моделі процесу експлуатації та технічного обслуговування інформаційно-телекомунікаційних та цифрових систем з оцінкою їхньої доступності.

Так, у праці [2] розроблено математичну модель процесу технічного обслуговування телекомунікаційної системи, яка охоплена безперервним тестуванням, із стійкими і повторювальними відмовами. Отримано математичні вирази для розрахунку середнього часу знаходження систе-

ми в робочому стані, станах відновлення і коефіцієнта готовності із використанням властивостей випадкового регенеруючого процесу при довільному законі розподілу напрацювання системи до відмови на нескінченному інтервалі часу.

У праці [3] розглядаються марковські моделі із трьома станами для аналізу надійності цифрових електронних систем. Модель технічного обслуговування одноклокової системи, якій властиві явні та приховані відмови, з періодичним тестуванням розроблено у праці [4] при довільному розподілі напрацювання до відмови. У праці [5] розглядається модель надійності системи із стійкими та повторювальними відмовами. Періодичні тестування виконуються для виявлення несправностей.

У праці [6] розроблено математичну модель системи зв'язку з повторювальними відмовами. У праці [7] представлено марковську модель для системи з повторювальними відмовами, яка періодично тестується у процесі експлуатації. У праці [8] оцінюється вплив повторювальних відмов на вартість обслуговування цифрової авіоніки. У праці [9] узагальнено можливі причини і наслідки повторювальних відмов в електронних пристроях. В праці [10] представлено математичну модель цифрової електронної системи з явними, прихованими та повторювальними відмовами.

Аналіз розроблених моделей показав, що для їхньої реалізації треба використати великий обсяг статистичних даних, необхідних для оцінки показників законів розподілів напрацювання до відмови та інтенсивностей відмов. Тому в даному дослідженні пропонується метод імітаційного моделювання показників доступності ТКС, який дозволяє отримувати необхідні оцінки показників при мінімальному наборі статистичних даних.

Імітаційне моделювання процесу експлуатації та технічного обслуговування телекомунікаційної системи

Імітаційне моделювання проведемо з використанням методу Монте-Карло [9, 10] для математичної моделі процесу експлуатації та технічного

обслуговування (ТО) телекомунікаційної системи, розробленої у праці [11]. Для розрахунку доступності телекомунікаційної системи, яка чисельно оцінюється коефіцієнтом готовності, знайдено аналітичні вирази для обчислення середнього часу знаходження системи в станах працездатності та відновлення для випадку експоненціального закону розподілу напрацювання до відмови. Середній час знаходження системи в працездатному стані

$$M[T_1] = \frac{1}{\mu + \theta}, \quad (1)$$

середній час знаходження системи в стані відновлення через повторювальну відмову

$$M[T_2] = \frac{t_{пв} \theta}{\mu + \theta}, \quad (2)$$

середній час знаходження системи в стані відновлення через стійку відмову визначається за формулою

$$M[T_3] = \frac{t_{св} \mu}{\mu + \theta}. \quad (3)$$

Коефіцієнт готовності ТКС визначається підстановкою виразів (1)–(3) у формулу (4):

$$K = \frac{M[T_1]}{\sum_{i=1}^3 M[T_i]}, \quad (4)$$

$$K = \frac{1}{1 + t_{св} \theta + t_{пв} \mu}, \quad (5)$$

де μ — інтенсивність стійких відмов, θ — інтенсивність повторювальних відмов, $t_{св}$ — час відновлення після настання стійкої відмови; $t_{пв}$ — час відновлення після настання повторювальної відмови.

Узагальнений алгоритм імітаційного моделювання випадкового процесу експлуатації та ТО телекомунікаційної системи наведено на рис. 1.

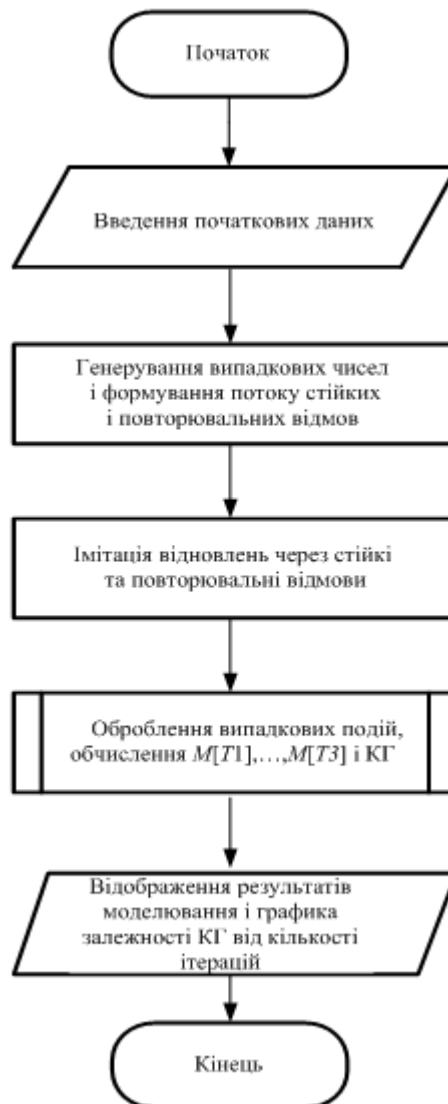


Рис. 1. Алгоритм імітаційного моделювання

Алгоритм складається з таких кроків:

Крок 1. Уведення вихідних даних.

Крок 2. Генерування випадкових чисел і формування потоку стійких та повторювальних відмов

Крок 3. Імітація часу відновлення після настання стійкої та повторювальних відмов.

Крок 4. Обробка випадкових подій і обчислення коефіцієнта готовності.

Крок 5. Відображення результатів моделювання.

Вхідними даними для імітаційного моделювання є такі параметри: $\mu = 5 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹; $\theta = 1 \cdot 10^{-4}$ год⁻¹; час відновлення після настання стійкої відмови 1 год; час відновлення після настання повторювальної відмови 1 год; повнота контролю $a = 1$; кількість реалізацій випадкового процесу ТО обладнання ТКС — 100 ітерацій; тривалість однієї ітерації (тривалість одного циклу) — 1000000 год.

Тривалість і кількість ітерацій обрані з урахуванням нескінченного інтервалу спостереження за випадковим процесом експлуатації та ТО обладнання ТКС. Алгоритм реалізований в програмному пакеті Delphi.

У таблиці представлено результати імітаційного моделювання і теоретичні значення середнього часу знаходження модулів в станах працездатності та відновлення, а також коефіцієнта готовності, розраховані за аналітичними формулами (1)–(5).

Таблиця 1

Результати імітаційного моделювання

№	$M[T_1]$	$M[T_2]$	$M[T_3]$	КГ
1.	9799,07	70,3242	0,88	0,970990
2.	9794,713	204,206	1,04	0,979477
3.	9862,725	136,137	1,077	0,986272
4.	9896,831	102,103	1,015	0,989683
5.	9899,472	99,485	0,992	0,989947

98.	9888,443	110,501	1,008	0,988844
99.	9889,560	109,385	1,007	0,988956
100.	9890,654	109,291	1,009	0,989965
Теор.	9894,444	110,365	1,0944	0,990562

Як видно із таблиці, результати моделювання мають високу збіжність статистичних та аналітичних результатів, відносна відхилення не перевищує 3 %.

Досліджено залежність коефіцієнта готовності обладнання ТКС від інтенсивності повторювальних відмов при фіксованих значення інтенсивностей стійких відмов (рис. 2).

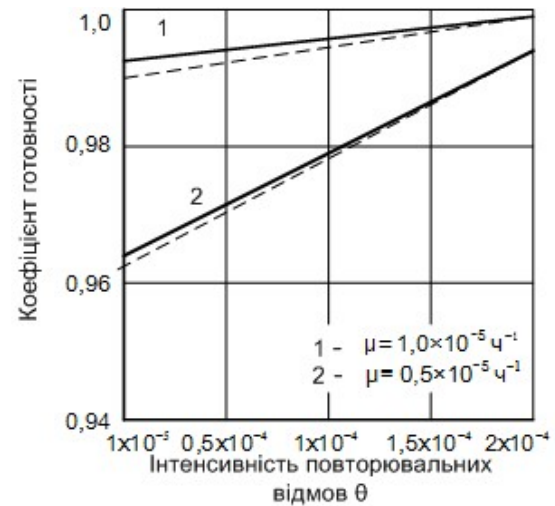


Рис. 2. Залежність коефіцієнта готовності від інтенсивності повторювальних відмов

Як видно із рис. 2, результати моделювання показують високу збіжність оцінки коефіцієнта готовності із його значеннями, обчисленими за аналітичним виразом (5), зі збільшенням кількості реалізацій випадкового процесу експлуатації та ТО обладнання ТКС. Також із графіків видно, що коефіцієнт готовності обладнання ТКС суттєво залежить від інтенсивності повторювальних відмов.

Висновки

У роботі запропоновано узагальнений алгоритм імітаційного моделювання процесу експлуатації та технічного обслуговування обладнання телекомунікаційної системи із використанням методу Монте-Карло. Проведено імітаційне моделювання процесу експлуатації та технічного обслуговування обладнання телекомунікаційної системи. Показано, що результати імітаційного моделювання мають високу збіжність статистичних та аналітичних результатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Документ SP-3-0092: (Стандарт ТІА-942, редакція 7.0, февраль 2005). NY. 230с.
2. Ulansky V., Terentyeva I. Availability modeling of a digital electronic system with intermittent failures and continuous testing. *Engineering Letters*. 2017. V. 25. No. 2. P. 104-111.
3. Prasad V. B. Computer networks reliability evaluations and intermittent faults. *1990 IEEE 33th Midwest Symp on Circuits and Systems*. Vol. 1. Calgary, Alta. 1990. pp. 327-330.
4. Prasad V. B. Digital systems with intermittent faults and Markovian models. *1992 IEEE 35th Midwest Symp on Circuits and Systems*. Vol. 1. Washington, 1992. pp. 195-198.

5. Уланский В. В., Мачалин И. А., Стратегия технического обслуживания одноблочной системы с явными и скрытыми отказами.

6. *Математические машины и системы*. Т. 3/4. 2007. С. 245–256.

7. Nakagava T. Maintenance theory of reliability. London: Springer, 2005. 269 p.

8. Nakagava T. Advanced reliability models and maintenance policies. London: Springer, 2008. 234 p.

9. Kranitis N., Merentitis A., Laoutaris N. Optimal periodic testing of intermittent faults in embedded pipeline processor applications. *2006 IEEE De-*

sign, Automation and Test in Europe Conf. Munich, Germany, 2006. Pp. 1–6.

10. Raza A., Ulansky V. Assessing the impact of intermittent failures on the cost of digital avionics' maintenance. *2016 IEEE Aerospace Conf., Big Sky* (March 5-12, 2016), Montana. 2016. pp. 1-16.

11. Qi H., Ganesan S., Pecht M. No-fault-found and intermittent failures in electronic products. *Microelectronics Reliability*. 2008. Vol. 48. pp. 663–674.

12. Уланський В. В., Терентьєва І. Є., Мачалін І. О. Оцінка готовності телекомунікаційних систем з різними видами відмов. *Наукоємні технології*. 2019. Т. 41. № 1. С. 95–100.

Терентьєва І. Є.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДОСТУПНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Розглянуто телекомунікаційні системи із стійкими та повторювальними відмовами, основні параметри для визначення їхньої доступності. Запропоновано узагальнений алгоритм імітаційного моделювання випадкового процесу експлуатації та технічного обслуговування обладнання телекомунікаційної системи із використанням методу Монте-Карло. Проведено імітаційне моделювання процесу експлуатації та технічного обслуговування обладнання телекомунікаційної системи. Тривалість і кількість ітерацій обрано з урахуванням нескінченного інтервалу спостереження за випадковим процесом. Показано, що результати імітаційного моделювання мають високу збіжність статистичних та аналітичних результатів, отриманих під час математичного моделювання процесу експлуатації та технічного обслуговування обладнання телекомунікаційної системи при експоненційному розподілі напрацювання до відмови, відносна відхилення не перевищує 3%. Проілюстровано, що результати імітаційного моделювання показують наближення оцінки коефіцієнта готовності до його значенням, обчисленим за аналітичним виразом, зі збільшенням кількості реалізації випадкового процесу експлуатації та технічного обслуговування обладнання телекомунікаційної системи. Запропонований у роботі алгоритм імітаційного моделювання може бути використано у випадку, коли складною є задача встановлення аналітичного взаємозв'язку між параметрами обладнання телекомунікаційної системи для визначення її доступності, а також для перевірки адекватності розроблених математичних моделей процесу експлуатації та технічного обслуговування сучасних телекомунікаційних систем та мереж.

Ключові слова: імітаційне моделювання; метод Монте-Карло; експлуатація та технічне обслуговування; коефіцієнт готовності; доступність телекомунікаційної системи; стійка відмова; повторювальна відмова; математична модель.

Terentieva I. Ye.

SIMULATION MODELING OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS ACCESSABILITY

The article considered the telecommunication systems with permanent and intermittent failures and the main parameters for determining their accessibility. The generalized algorithm of simulation modeling of the random process of the telecommunication system equipment operation and maintenance was proposed using the Monte Carlo method. The simulation modeling of the operation and maintenance of the equipment of the telecommunication system was carried out. Duration and number of iterations were selected taking into account the infinite interval of observation of the random process. It was shown that the results of simulation modeling have high convergence of statistical and analytical results obtained during mathematical modeling of the process of operation and maintenance of equipment of the telecommunication system at the exponential distribution of the time to failure, the relative deviation did not exceed 3%. It was illustrated that the results of simulation modeling demonstrate the approximation of the readiness coefficient to its value, calculated on the analytical expression, with the increase in the number of implementations of the random operation of the maintenance and maintenance of the equipment of the telecommunications system. The proposed simulation modeling algorithm can be used both when there is the problem of establishing an analytical relationship between the parameters of the telecommunication system equipment for its accessibility determination, and for checking the adequacy of the developed mathematical models of the process of operation and maintenance of modern telecommunication systems and networks.

Keywords: simulation modeling; Monte Carlo method; operation and maintenance; readiness coefficient; availability of telecommunication system; permanent failure; intermittent failure; mathematical model.

Терентьева И. Е.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДОСТУПНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены телекоммуникационные системы с устойчивыми и перемежающимися отказами, основные параметры для определения их доступности. Предложен обобщенный алгоритм имитационного моделирования случайного процесса эксплуатации и технического обслуживания оборудования телекоммуникационной системы с использованием метода Монте-Карло. Проведено имитационное моделирование процесса эксплуатации и технического обслуживания оборудования телекоммуникационной системы. Продолжительность и количество итераций выбрано с учетом бесконечного интервала наблюдения за случайным процессом. Показано, что результаты имитационного моделирования имеют высокую сходимость статистических и аналитических результатов, полученных во время математического моделирования процесса эксплуатации и технического обслуживания оборудования телекоммуникационной системы при экспоненциальном распределении наработки до отказа, относительное отклонение не превышает 3%. Проиллюстрировано, что результаты имитационного моделирования показывают приближение оценки коэффициента готовности к его значению, вычисленному по аналитическому выражению, с увеличением количества реализаций случайного процесса эксплуатации и технического обслуживания оборудования телекоммуникационной системы. Предложенный в работе алгоритм имитационного моделирования может быть использован в случае, когда сложно установить аналитическую взаимосвязь между параметрами оборудования телекоммуникационной системы для определения ее доступности, а также для проверки адекватности разработанных математических моделей процесса эксплуатации и технического обслуживания современных телекоммуникационных систем и сетей.

Ключевые слова: имитационное моделирование; метод Монте-Карло; эксплуатация и техническое обслуживание; коэффициент готовности; доступность телекоммуникационной системы; стойкий отказ; перемежающийся отказ; математическая модель.

Стаття надійшла до редакції 12.04.2019 р.

Прийнято до друку 15.06.2019 р.