УДК 004.7:519.87(043.3)

Торошанко Я. І., канд. техн. наук, с.н.с. Тел.: +380 (50) 555 51 14. E-mail: toroshanko@ukr.net

ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ НАДІЙНІСТЮ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Toroshanko Ya. I. The problems of management of telecommunication networks reliability. The present state and prospects of development of the automated checking and management of telecommunication networks reliability systems is analysed. Tasks are outlined providing of reliable work of telecommunication networks, related to the problems of physical refuses of network and terminal knots on the short intervals of work. There are certained directions of researches, related to the decision of tasksof management of telecommunication networks reliability. The methodsof evaluation of the stateof telecommunication network state are described. There are formulated system requirement of analysis and prognostication loadings on the basis of which the algorithms of management and dynamic routing informative streamsare built for providingon possibility of minimum delays of information.

Keywords: telecommunication network, management reliability, control-automation system, prognostication of loading system, physical refuse

Торошанко Я. І. Задачі управління надійністю телекомунікаційних мереж. Проаналізовано сучасний стан та перспективи розвитку автоматизованих систем контролю та управління надійністю телекомунікаційних мереж. Окреслені задачі забезпечення надійної роботи телекомунікаційних мереж, пов'язані з проблемами фізичних відмов мережних та термінальних вузлів на коротких інтервалах роботи. Визначені задачі і напрямки досліджень, пов'язані із вирішенням задач управління надійністю телекомунікаційних мереж.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, управління надійністю, автоматизована система контролю, прогнозування навантаження, фізична відмова

Торошанко Я. И. Задачи управление надежностью телекоммуникационных сетей. Проанализировано современное состояние и перспективы развития автоматизированных систем контроля и управления надежностью телекоммуникационных сетей. Очерчены задачи обеспечения надежной работы телекоммуникационных сетей, связанные с проблемами физических отказов сетевых и терминальных узлов на коротких интервалах работы. Определены задачи и направления исследований, связанные с решением задач управления надежностью телекоммуникационных сетей.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, управление надежностью, автоматизирована система контроля, прогнозирования нагрузки, физический отказ

1. Постановка задачі

Для забезпечення надійного і ефективного функціонування телекомунікаційних мереж значну роль відіграє розробка систем і алгоритмів управління ресурсами та можливість їх динамічного перерозподілу в залежності від стану мережі, зовнішніх та внутрішніх умов її роботи. Найбільший вплив на показники ефективності функціонування телекомунікаційних мереж мають перевантаження як мережі в цілому, так і окремих її сегментів і маршрутів [1-4].

Важливою задачею для управління надійністю телекомунікаційних мереж є розробка системи аналізу і прогнозування навантаження та створення на їх основі алгоритмів управління інформаційними потоками для забезпечення по можливості мінімальних затримок сигнальної та управляючої інформації. При цьому слід розрізняти перевантаження окремих маршрутів та мережних сегментів від фізичних відмов мережних вузлів та елементів [5-8]. . Хоча і в тому, і в іншому випадку виникають затримки пересилання сигнальної та управляючої інформації, природа їх є суттєво різною. Вказаний факт слід враховувати при розробці систем і алгоритмів управління надійністю телекомунікаційних мереж [8, 9].

Однак в літературі в основному зустрічаються посилання на часткові результати та технічні параметри систем пошуку несправностей, які потребують уточнення. Результати досліджень узагальнюючого системного характеру майже не наводяться або даються без досить детального опису початкових умов, діапазонів характеристик мережі, порівняльного аналізу. Тому задача розробки методів швидкого виявлення, локалізації несправностей та відновлення роботи телекомунікаційних мереж, а в широкому сенсі – управління надійністю та безвідмовністю мережі є ***актуальною***.

2. Побудова систем управління телекомунікаційними мережами

В даний час основна концепція для побудови систем управління телекомунікаційними мережами базується на стандартах TMN [10-14]. Мережа управління телекомунікаціями концепції TMN представляє з себе спеціальну інфраструктуру, що забезпечує управління шляхом організації взаємодії з компонентами різних телекомунікаційних мереж за допомогою мережі передачі даних на основі єдиних інтерфейсів і протоколів обміну інформацією.

Взаємозв'язок інфраструктури концепції TMN з телекомунікаційною мережею показаний на Рис. 1.

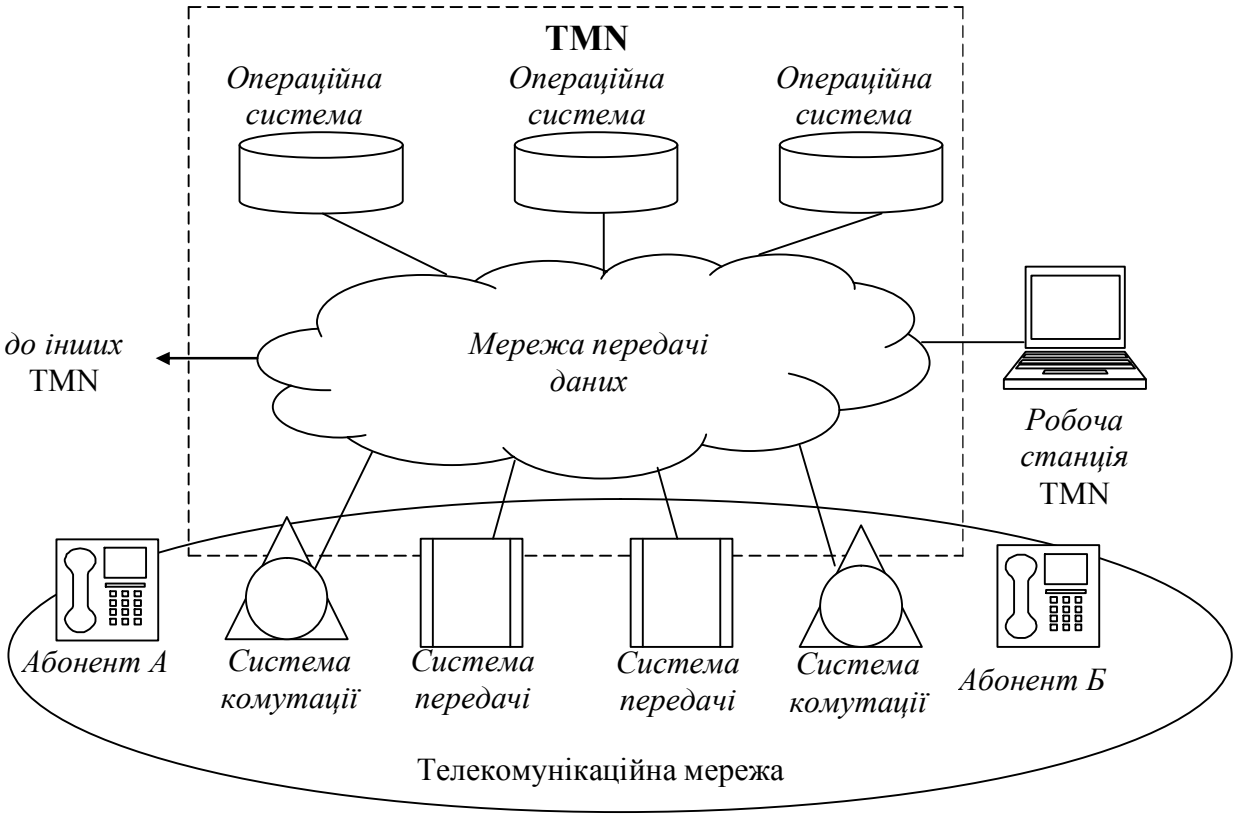

Рис. **1.** Взаємозв'язок інфраструктури TMN з телекомунікаційною мережею

Система TMN має наступні функціональні області управління [10, 12, 14]:

Управління робочими характеристиками. У процесі управління робочими характеристиками (якістю роботи, якістю сервісу – QoS) генеруються команди контролю та управління, необхідні для визначення технічного стану мережних елементів і ефективності функціонування мережі електрозв'язку в цілому. Інформація про роботу мережі поступає із заданими інтервалами. За результатами обробки статистики роботи мережі виробляються відповідні управляючі дії. Іншими словами, у даній функціональній області реалізується етап вимірювання робочих характеристик та оцінювання стану мережі.

Управління надійністю та усунення несправностей забезпечується шляхом виявлення, визначення несправності в мережі, їх реєстрацію, доведення відповідної інформації до обслуговуючого персоналу, видачу рекомендацій по усуненню несправностей.

Управління конфігурацією реалізується у процесі моніторингу мережних елементів (їх типів, місцезнаходження, ідентифікації параметрів та стану і т.п.), включення елементів в роботу, їх конфігурування і виходу з робочого стану, встановлення і змін фізичних з'єднань між елементами.

Управління розрахунками – це контроль степеню використання мережних ресурсів і підтримання функції автоматичного нарахування оплати (білінгу).

Управління безпекою необхідне для захисту мережі від несанкціонованого доступу. Воно може включати обмеження доступу за допомогою паролів, видачу сигналів тривоги при спробах несанкціонованого доступу, відключення небажаних користувачів або, навіть, криптографічний захист інформації.

3. Управління надійністю телекомунікаційних мереж

В контексті задачі розробки систем і алгоритмів управління надійністю телекомунікаційних мереж виникає необхідність досліджень за такими напрямками:

1) Визначення стану системи в режимі її функціонування. Особливістю контролю телекомунікаційної мережі у режимі реального функціонування є наявність в ній сигнальної інформації у момент перевірки, що практично виключає використання стимулюючих сигналів для визначення її стану [3, 8, 9]. Визначення параметрів та стану телекомунікаційної мережі може бути здійснена такими шляхами:

– *Ідентифікація об'єкту*. Задача полягає у визначенні матричного оператора динамічних характеристик контрольованого вузла чи елемента телекомунікаційної мережі [15, 16]. Потрібно оцінити необхідні умови для його вживання та розробити відповідні методи для застосування у даній предметній області.

– *Оцінка стану об'єкту по збуреннях*. Цей підхід є маловивченим, і його опрацювання представляє суто теоретичний інтерес. Щоб здійснити адекватну реакцію системи до дії внутрішніх і зовнішніх збурень потрібно мати вичерпну інформацію про параметри та стан системи на нескінченному інтервалі спостереження. На практиці можна отримати лише деякі асимптотичні оцінки на кінцевому інтервалі спостереження.

– *Створення еталонних моделей об'єкту*. Використання моделі, яка б адекватно відображала властивості об'єкту, для телекомунікаційної мережі порівняно великого масштабу представляє практично нереальне завдання (за тими ж міркуваннями, що й для другого підходу).

2) Способи оцінки стану об'єкту контролю. Задача оцінювання стану телекомунікаційної мережі як об'єкту контролю проводиться при наступних вихідних даних:

а) Об'єкт вважається справним, якщо всі його параметри, як основні (що характеризують виконання об'єктом своїх функцій), так і другорядні (зручність експлуатації, зовнішній вигляд і ін.) відповідають всім пред'явленим вимогам, тобто всі параметри об'єкту знаходяться в деяких заданих границях. Вихід будь-якого параметра з цих меж означає, що об'єкт несправний.

б) Об'єкт працездатний, якщо його основні параметри знаходяться в межах норми, і при цьому об'єкт задовільно виконує задані функції. Втрата працездатності називається відмовою.

в) У загальному випадку число станів об'єкту більше двох. Можна говорити про декілька рівнів працездатності, різні категорії відмов тощо. У кожному конкретному випадку число станів, які можна розрізнити, залежить від поставленого завдання контролю, специфіки об'єкту, характеристик і можливостей контролю і т.д. Надалі як основні стани розглядатимемо лише два: "працездатність "("справність") і "відмова" ("несправність").

Різновиди несправних станів (миттєва, поступова, плаваюча відмови тощо) так чи інакше зводяться до другого (*б*) основного стану системи .

3) Розробка та обгрунтування процедури пошуку несправностей. Вибір стратегії пошуку відмов, що можуть виникати в елементах телекомунікаційної мережі, є однією з основних операцій в організації контролю.

Основними показниками роботи системи контролю являються:

– *час*, що витрачається на пошук несправностей;

– *достовірність* повноти результатів пошуку;

– *швидкодія* системи контролю;

– *порядок* перевірки елементів;

– *імовірність* завершення перевірки протягом заданого часу та інші.

У роботах по автоматизації контролю [5, 17-20] наводяться алгоритми різних стратегій пошуку, у тому числі і оптимальних по тому або іншому критерію [21], різних вихідних даних, що вимагають для своєї реалізації, і математичного апарату. У завданні забезпечення ефективності контролю елементів телекомунікаційної мережі необхідно на основі аналізу алгоритмів провести вибір оптимальної стратегії пошуку, що забезпечує мінімум часу, що витрачається на виявлення і визначення місця відмови.

4) Визначення параметрів каналу опиту елементів телекомунікаційної мережі. В науковій літературі досліджуються здебільшого системи контролю, які орієнтовані на перевірку локально розташованих як контролюючих, так і контрольованих об'єктів . Просторові розміри телекомунікаційної мережі і віддаленість її елементів вимагають наявності спеціальних засобів для передачі інформації типу "запит-відповідь" в ланці "пункт контролю – елемент телекомунікаційної мережі". Це вимагає вирішення таких питань в роботі засобів для передачі контрольної інформації:

– *вибір режиму опитування* відповідно до ходу перевірки;

– *раціональне завантаження каналу запиту* з можливістю узгодження характеристик кодування з вибраною стратегією пошуку несправності;

– *забезпечення необхідного рівня достовірності* передачі сигналів "запит" і "відповідь".

5) Визначення вихідних даних для оптимальної стратегії пошуку несправності. Вихідними даними для статистичної оптимізації процесів контролю працездатності і пошуку несправностей є простір перевірок, вартість та час цих перевірок, імовірності збоїв і помилок першого і другого роду, імовірності відмов елементів телекомунікаційній мережі. Помилки першого і другого роду визначаються з урахуванням того, що точність виміру узагальненого статистичного параметра, використовуваного для оцінки стану контрольованого об'єкту, залежить від часу спостереження.

Враховуючи, що об'єкт контроль (телекомунікаційна мережа) може містити сотні тисяч елементів, інформація про інтенсивність відмов яких із-за різних чинників не є повністю достовірною, оцінка потенційної надійності об'єкту вимагає непрямих імовірнісних методів визначення. Вказане завдання вирішується на основі урахування фізичних причин і схем появи відмов, використання для розрахунків конкретних реалізацій зносу аналогічної апаратури тощо.

6) Резервування як елемент усунення несправності. Наявність додаткових каналів для надійної передачі повідомлень наводить до збільшення витрат як на побудову телекомунікаційної мережі, так і на її обслуговування і експлуатацію. Використання додаткових резервних каналів або сегментів телекомунікаційної мережі для підвищення надійності потребує вирішення завдання визначення структури телекомунікаційної мережі (наявність додаткових каналів), при якій забезпечувалися б мінімальні витрати за умови, що результуючий показник надійності був би не нижче необхідної величини.

4. Ймовірнісні характеристики систем управління надійністю мереж

Збір і обробка інформації для управління мережею проводиться на основі оцінки її внутрішнього стану і зовнішніх умов функціонування. З цією метою у системі контролю здійснюються такі заходи [5-8, 19, 20]: діагностування, експлуатаційні вимірювання і випробування обладнання; накопичення і узагальнення статистичних даних про розподіли і кореляцію помилок в каналах зв'язку; оцінки поточної завадової обстановки в мережі; оцінки якості обміну інформацією.

Задача контролю функціонування системи і мереж зв'язку може бути представлена як задача зменшення невизначеності відомостей про стан системи в поточний момент часу [17, 22-24]. З позиції теорії статистичних рішень завдяки контролю збільшується значення імовірності достовірності того класу станів об'єкту перевірки, в якому він дійсно знаходиться. Апостеріорну імовірність класів станів можна визначити як достовірність оцінки стану (розпізнавання), так і помилки першого і другого роду.

Імовірність знаходження об'єкту в *i*-ому класі, якщо система контролю вказала на його приналежність до *j*-го класу, відповідно до формули Байеса дорівнює:

$$P\left(S_i/S_j^{(c)}\right)=\frac{P_O\left(S_iP\right)\left(S_j^{(c)}/S_i\right)}{\sum_{\beta=1}^{N}P_0\left(S_\beta\right)P\left(S_j^{(c)}/S_\beta\right)}, \qquad (1)$$

де $P_O(S_i)$ – апріорна імовірність об'єкту перед контролем в *i*-му стані;

$P\left(S_i/S_j^{(c)}\right)$ – імовірність знаходження об'єкту в *i*-му класі станів, якщо контроль вказав на *j*-ий клас;

$P\left(S_j^{(c)}/S_\beta\right)$ – імовірність віднесення системою контролю об'єкту до *j*-ого класу, якщо насправді його стан належить β-ому класу;

N – число класів станів об'єкту.

Якщо система контролю має високу достовірність, тоді

$$P\left(S_j^{(c)}/S_\beta\right)=1 \text{ при } \beta=j, \quad P\left(S_j^{(c)}/S_\beta\right)=0 \text{ при } \beta\neq j.$$

З урахуванням цієї умови знаменник у виразі (1) приймає вигляд

$$\sum_{\beta=1}^{N}P_0\left(S_\beta\right)P\left(S_j^{(c)}/S_\beta\right)=P_0\left(S_j\right)P\left(S_j^{(c)}/S_j\right),$$

а апостеріорна імовірність (1.1) рівна одиниці:

$$P\left(S_j/S_j^{(c)}\right)=\frac{P_0\left(S_j\right)P\left(S_j^{(c)}/S_j\right)}{P_0\left(S_j\right)P\left(S_j^{(c)}/S_j\right)}=1.$$

Таким чином, за наявності ідеального (безпомилкового) контролю достовірність відомостей про приналежність стану об'єкту до *j*-го класу станів в порівнянні з апріорними даними збільшується в

$$\frac{P\left(S_j^{(c)}/S_j\right)}{P_0\left(S_j\right)}=\frac{1}{P_0\left(S_j\right)} \quad \text{разів.}$$

Реальна система контролю відрізняється від ідеальної, а тому

$$P\left(S_j^{(c)}/S_\beta\right)<1 \text{ при } \beta=j, \quad P\left(S_j^{(c)}/S_\beta\right)>0 \text{ при } \beta\neq j.$$

Отже $P\left(S_j^{(c)}/S_j\right)<1.$

До одного з основних показників для доставки інформації відносяться його імовірнісно-часові характеристики затримки в мережі повідомлення. Відхилення (збільшення) від допустимого значення затримки визначаються можливою появою несправностей в елементах мережі, а також обмеженням інформаційних потоків. В залежності від чутливості до часових затримок розрізняють такі види інформації [2-4]:

Оперативні дані – невеликі цифрові потоки, чутливі до затримок і шумів.

Діалогові дані – відносно короткі повідомлення з достатньо великими допустимими затримками, але критичні до шумів.

Мова – потік активностей і пауз, що чергуються; мова, що пакетується, належить

до категорії трафіку реального часу, тобто задає жорсткі вимоги до часових характеристик доставки.

Відеопотоки – великі (сотні мегабайт і більш) потоки аналогової за своєю природою інформації (промислове телебачення, диспетчерський зв'язок і ін.), подібні мовним потокам, але вимагають значно більших смуг частот (швидкості передачі).

Фонова інформація (файли даних і відеофайли) передається в режимах комутації каналів і комутації повідомлень; передача здійснюється повідомленнями великої довжини з обов'язковим підтвердженням прийому.

5. Висновки

У системах такої складності як телекомунікаційна мережа навіть при ретельному плануванні, моніторингу і оцінюванні неможливо побудувати повністю адекватну модель мережі і повністю передбачити сервісні вимоги до неї. Відмови можуть з'явитися внаслідок недостатньої пропускної спроможності та продуктивності окремих сегментів мережі, надмірних затримок під час пікового навантаження, порушень безпеки (мережні атаки типу "відмова в обслуговуванні", несанкціоновані вторгнення тощо), фізичної відмови необхідного компоненту або втрати ресурсу.

Для подолання апріорної невизначеності при прогнозуванні відмов можна застосовувати різноманітні методи прогнозу параметрів та стану мережі, але потрібно уникати так званого "прокляття розмірності" – показникового зростання складності модельного опису та, як результат, такого ж зростання обчислювальної складності.

Існують різні підходи до вирішення проблему "прокляття розмірності", вони виходять за рамки розгляду в даній статті.

Окреслені задачі забезпечення надійної роботи телекомунікаційних мереж, пов'язані з проблемами фізичних відмов мережних та термінальних вузлів на досить коротких інтервалах роботи – наприклад, впродовж робочого дня. Огрунтована необхідність розробки нових методів управління надійністю мережних вузлів – пошуку, визначення несправностей, розпізнавання несправностей елементів на відміну від перевантажень комутаційних вузлів, розпізнавання типу відмови (плаваючий – постійний і т. ін..), оцінювання необхідного часу відновлення та витікаючи з цього рішень на зміну маршрутів передавання – в обхід вузла, що відмовив, або перевантаженого маршруту. При цьому треба оцінювати додаткові витрати мережних та обчислювальних ресурсів на виявлення та розпізнавання відмов.

Література

1. Tanenbaum, A.S. Computer Networks, 5th Ed. / Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. – Prentice Hall, Cloth, 2011. – 960 pp.

2. Крук Б. И. Телекоммуникационные системы и сети: учебное пособие. В 3 томах. Том 1 – Современные технологии / Б. И. Крук, В. Н. Попантонопуло, В. П. Шувалов; под ред. проф. В. П. Шувалова. – 3-е изд. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2003. – 647 с.

3. Стеклов В. К. Основи управління мережами та послугами телекомунікацій / В. К. Стеклов, Є. В. Кільчицький. – Київ : Техніка, 2002. – 438 с.

4. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. – 4-е изд. / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – Санкт-Петербург : Питер, 2010. – 944 с.

5. Бестугин А. Р. Контроль и диагностирование телекоммуникационных сетей / А. Р. Бестугин, А. Ф. Богданова, Г. В. Стогов. – Санкт-Петербург : Политехника, 2003. – 174 с.

6. Hudyma R. Causes of Failures in IT Telecommunications Networks [Електронний ресурс] / R. Hudyma, D. I. Fels // – Режим доступу : http://www.ryerson.ca/content/dam/imdc/publicati ons/ papers/itfailure.doc.

7. Shooman M. L. Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design. 2002 John Wiley & Sons, Inc, 2002. – 548 pp.

8. Danyluk A. Telecommunication Network Diagnosis, PP. 897 – 902 / A. Danyluk, F.J. Provost, B. Carr – In Handbook of data mining and knowledge discovery, Oxford University Press, Inc. New York, NY, USA, 2002. - 1064 pp.

9. Vinogradov N. An analysis of singularity of the matrices of priorities and sensibility of decisions as key performance indicators of the analytic hierarchies process / Nick Vinogradov, Vladimir Drovovozov, Alina Savchenko, Inna Kudzinovskaya // Journal of Qafqaz University (Mathematics and Computer Sciences).– 2011. – №32, – PP. 40-48.

10. Гребешков А. Ю. Управление сетями электросвязи по стандарту TMN / А. Ю. Гребешков. – Москва : Радио и связь, 2004 г. – 155 с.

11. Дымарский Я. С. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи / Я. С. Дымарский, Н. П. Крутякова, Г. Г. Яновский. – Москва : ИТЦ «Мобильные коммуникации», 2003. – 384 с.

12. Нетес В. А. Сеть управления электросвязью (TMN) / В. А. Нетес // Сети и системы связи. – 1996. – № 10. – С. 62-68.

13. Нетес В. А. Управление сетями: стандарты, проблемы и перспективы / В. А. Нетес, Н. В. Трубникова // Вестник связи. – 2000. – № 2. – С. 83-88.

14. Методология спецификаций интерфейса сети TMN // Рекомендации МСЭ-Т М.3020 (10/92).

15. Шматко В. С. Методи ідентифікації параметрів безпроводових мереж з різними структурами / В. С. Шматко, М. С. Височіненко // 14-а міжнародна науково-практична конференція «Новітні мережні технології в Україні», 17-19 вересня 2012 р., смт Партеніт. – С.98-101.

16. Цыпкин Я. З. Информационная теория идентификации / Я. З. Цыпкин. – Москва : Наука. Физматлит, 1995. – 336 с.

17. Уилсон Э. Мониторинг и анализ сетей. Методы выявления неисправностей / Э. Уилсон. – Москва : Лори, 2002. – 363 с.

18. Tolubko V. B. An effective structure of the dynamic monitoring system of telecommunication network objects using mobile measuring devices in real-time / V. B. Tolubko, L. O. Komarova, O. O. Ilin // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №1. – С. 5-11.

19. Бигелоу С. Сети: поиск неисправностей, поддержка и восстановление / С. Бигелоу ; пер. с англ. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. – 1200 с.

20. Weiss G. M. Predicting Telecommunication Equipment Failures from Sequences of Network Alarms, PP. 891 - 896 / In Handbook of data mining and knowledge discovery. – Oxford University Press, Inc. New York, NY, USA, 2002. – 1064 pp.

21. Толубко В. Б. Багатокритеріальна оптимізація параметрів програмно-конфігурованих мереж / В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман, Л. О. Комарова, Є. В. Орлов // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №4. – С. 5-11.

22. Половко А.М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.

23. Бендат Дж. Измерение и анализ случайных процессов / Дж. Бендат, А. Пирсол ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1974. – 464 с.

24. Evans M. Statistical distributions / M. Evans, N. Hastings, and B. Peacock. – 2nd ed. – John Wiley & Sons, Inc, 1993. – 186 pp.

Дата надходження в редакцію: 09.07.2015 р. Рецензент: д.т.н., проф. Ю. Г. Савченко