УДК621.391;681.3.06+519.6(075.8)

Федюнін С. А.

ПОТОКИ ВІДМОВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Fedyunin S. A. Failure stream of recovering system. The problems of construction of multidimentional next generation network are considered. It is shown that main problem for these networks is a creation of a control system, which will have the reliability parameters. Concept of failure stream of restoring system are determined. The basic properties of stationary and non-stationary flows of failures are analyzed. We consider the properties of the elementary stream in which the probability of failure are determined by the Poisson distribution. We consider the recovery process – failure stream, in which mean time between failures are mutually independent and distributed with the same density. It is shown that elementary stream is an isolated case in the recovery process with exponential distribution of mean time between failures.

Ключові слова: infocommunication network, stream failure, next generation network, multidimentional system, Poisson distribution

Федюнін С. А. Потоки відмов відновлювальних систем. Розглянуті питання побудови багатовимірних інфокомунікаційних мереж майбутніх поколінь. Визначені поняття потоку відмов для систем з відновленням. Проаналізовані основні властивості стаціонарних і нестаціонарних потоків відмов. Розглянуті властивості найпростішого потоку, в якому ймовірність виникнення відмов визначається розподілом Пуассона. Визначені умови застосування найпростішого потоку для описання відмов відновлювальної системи.

Ключові слова: інфокомунікаційна мережа, потік відмов, мережа майбутніх поколінь, багатовимірна система, розподіл Пуассона

Федюнин С. А. Потоки отказов восстанавливаемых систем. Рассмотрены вопросы построения многомерных инфокоммуникационных сетей будущих поколений. Определены понятия потока отказов для систем с восстановлением. Проанализированы основные свойства стационарных и нестационарных потоков отказов. Рассмотрены свойства простейшего потока, в котором вероятность возникновения отказов определяется распределением Пуассона. Определены условия применения простейшего потока для описания отказов восстанавливаемой системы.

Ключевые слова: инфокоммуникационная сеть, поток отказов, сеть будущих поколений, многомерная система, распределение Пуассона

1. Постановка задачі.Сучасні інфокомунікаційні мережі – це не лише мережі транспорту і доступу, але ще і мережі підтримки і сервісу, тобто мережі синхронізації, сигналізації, управління, мережі передачі сигналів часу і тому подібне. Всі вони мають власні технічні і, зокрема, обчислювальні засоби і вирішують з їх допомогою поставлені завдання. В сукупності мережі транспорту, доступу, підтримки і сервісу, зрозуміло, частково взаємодіють між собою, але така взаємодія відбувається лише в міру необхідності і не розглядається як істотний принцип їх розвитку і вдосконалення в умовах автономності існування цих мереж [1-4]. Тому принцип "багато послуг – одна мережа" не лише в сучасних мережах, але і в мережах NGN в значній мірі декларативний.

Інша справа – мережі FGN. Передбачити їх архітектуру і навіть загальні принципи побудови дуже важко, але все таки аналіз тематики деяких сучасних теоретичних досліджень в області складних систем і всіляких мережевих структур дозволяє зробити деякі припущення про можливу подобу і навіть деякі особливості мереж майбутнього. Є підстава вважати, що це будуть багатовимірні мережі [5-7]. До питань теорії побудови такого роду мереж в різних областях природознавства і, у тому числі, в області телекомунікацій останніми роками виявляється значний інтерес.

2. Багатовимірність інфокомунікаційної мережі. Відомо, що багатовимірність, що розглядається як конструктивний принцип, є способом об'єднання розрізнених шляхів в єдине ціле і, відповідно, багатовимірні мережі майбутнього не обов'язково повинні мати чітко виражене ділення на мережі транспорту, доступу і згадані мережі підтримки і сервісу [8-11]. Тому в мережах FGN, тобто в інфокомунікаційних мережах майбутнього, стане можливим за рахунок використання багатовимірної структури мережі і багатоядерних обчислювальних засобів в її вузлах забезпечувати обмін інформацією і надання всіляких послуг споживачам по майже примітивній, на перший погляд, схемі:

Споживачі (Користувачі) – Багатовимірна мережа – Споживачі (Користувачі)

При такому підході доступ, транспорт, сервіс, підтримка (синхронізація, сигналізація і т. д.) – це внутрішня справа інтегрованої мережі FGN, багатовимірна архітектура якої в принципі надає можливості спільного вирішення завдань, покладених на складові її мережі, у тому числі неординарними способами, відповідними рівню винаходів.

Можна передбачити, що для мережі майбутнього FGN найпростіше рішення, при якому мережі доступу, транспорту і різні мережі підтримки знаходяться в своїх власних, лише для них відведених, вимірах навряд чи буде кращим рішенням. Між іншим, по суті, хоч і з деякою натяжкою, таке положення якраз має місце зараз, якщо, наприклад, існуючу мережу загального користування розглядати теж як багатовимірну мережу, де в своїх власних вимірах знаходяться: транспорт, доступ і різні мережі підтримки і сервісу [2, 11-13].

Навпаки, в мережі FGN, при її спочатку і принципово багатовимірній структурі можна буде використовувати загальні ресурси цієї мережі і особливо обчислювальні ресурси різними, а, можливо, і всіма підмережами цією багатовимірної і, як правило, багаторівневої мережі. Ці можливості, а також використання на мережах багатоядерних обчислювальних засобів з пам'яттю, подібній багатовимірній пам'яті суперкомп'ютерів, безумовно, сприятиме розробці і реалізації принципів побудови багатовимірної мережі з максимальним використанням її ресурсів.

Відповідно перехід до багатовимірних мереж з максимальним використанням ресурсів, що є у них, може розглядатися як вельми істотний, якщо не головний, показник відмінності мереж FGN від сучасних мереж, у тому числі мереж NGN.

Основною проблемою для цих мереж є створення системи управління, яка буде мати визначені параметри надійності [14-17]. Як відомо, основою створення надійних систем є забезпечення властивості відновлення після відмов.

Після кожної відмови відновлювальних систем слідує її відновлення, яке проводиться заміною елемента що відмовив на ідентичний працездатний або проведенням ремонтних операцій. Також як і напрацювання до першої відмови невідновлювальної системи, моменти настання відмов відновлювальної системи є випадковими. Також випадковою є тривалість робіт по проведенню відновлення, але час відновлення, як правило, значно менше часу між відмовами, і в цьому параграфі тривалістю відновлення будемо нехтувати, вважаючи відновлення миттєвим.

3. Потік відмов. Графік функціонування відновлювальної системи при допущенні миттєвого відновлення приведений на Рис.1,а. В момент t=0 система починає працювати, в момент t_1 має місце перша відмова і відновлення, після чого система продовжує роботу.

В момент t_2 відбувається друга відмова і відновлення, в момент t_3 – третя відмова і відновлення і т.д. Послідовність відмов що відбуваються одна за одною у випадкові моменти часу, носить назву *потік відмов.* Поняття потоку відмов є одним з основних при розгляді систем з відновленням.

Можливі два основні способи надання потоку відмов. *Перший* спосіб полягає у вивченні деякого дискретного випадкового процесу $\eta(t)$ – числа відмов на проміжку часу $(0, t)$ [одна з можливих реалізацій $n(t)$ цього процесу подана на Рис.1,б]. *Другий* спосіб полягає у вивченні послідовності безперервних випадкових напрацювань $\xi_1 = t_1$; $\xi_2 = t_2 - t_1$; $\xi_3 = t_3 - t_{2;\ldots}$ між відмовами.

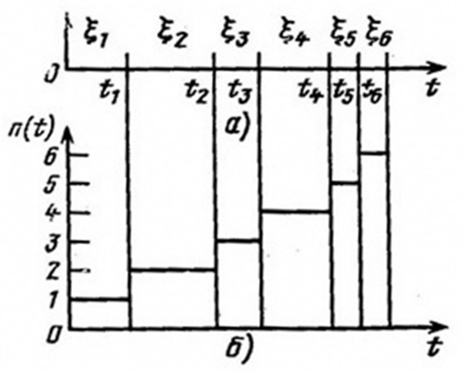

Рис.1. До визначення поняття «потік відмов»:
а) – реалізація послідовності напрацювань між відмовами;
б) – реалізація випадкового процесу $\eta(t)$

Зупинимося спочатку на першому способі надання потоку. Так само як і випадкову величину можна задати функцією розподілу ймовірностей прийнятих нею значень, процес $\eta(t)$ можна було б задати розподілом ймовірності всіх його реалізацій $n(t)$. Однак спроба явного надання такого розподілу пов'язана зі значними труднощами. При деяких припущеннях, про які буде сказано нижче, таке надання потоку можна суттєво спростити. Для цього розглянемо основні властивості потоків.

3.1. Основні властивості потоків. Потік називають стаціонарним, якщо закон розподілу вектору числа відмов $\eta(a+t_1)–\eta(a)$, $\eta(a+t_2)–\eta(a)$, …… , $\eta(a+t_d)–\eta(a)$ відповідно на відрізках часу (a, $a+t_1$;a, $a+t_2$;…; a, $a+t_d$) залежить тільки від тривалості цих відрізків $t_1, t_2, \ldots, t_d$, але не залежить від вибору загального моменту а початку відрізків. В іншому випадку потік називають нестаціонарним. Виконання вимог стаціонарності означає що ймовірні характеристики потоку не залежать від часу. Зокрема, закон розподілу числа відмов на будь-якому проміжку часу (t_1, t_2) не залежить від самих значень t_1 і t_2, а залежить тільки від їх різниці $t_2–t_1$.

На осі часу виділимо набір непересічних проміжків часу довжиною $\Delta t_1, \Delta t_2, \ldots, \Delta t_к$ (Рис. 2) і позначимо через $\Delta\eta_1(\Delta t_1)$, $\Delta\eta_2(\Delta_2)$, …, $\Delta\eta_к(\Delta t_к)$ випадкові величини – числа відмов на цих проміжках часу.

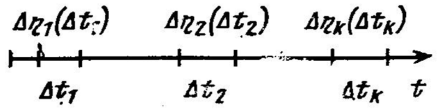

Рис. 2. До визначення поняття «післядія в потоці відмов»

Потік відмов називають *потоком без післядії*, якщо для будь-якого набору непересічних проміжків часу Δt_1, Δt_2, …, $\Delta t_к$ числа відмов на цих проміжках $\Delta\eta_1(\Delta t_1)$, $\Delta\eta_2(\Delta t_2)$, …, $\Delta\eta_к(\Delta t_к)$ являють собою взаємно незалежні випадкові величини. Тому, якщо маємо k непересічних проміжків часу Δt_1, Δt_2, …, $\Delta t_к$ і ймовірність виникнення n_1, $n_2, \ldots, k$ відмов протягом кожного з цих проміжків відповідно дорівнюють $p(n_1,\Delta t_1)$, $p(n_2,\Delta t_2)$, …, $p(n_k,\Delta t_k)$, то ймовірність поєднання подій (протягом відрізку часу Δt_1 виникає n_1 відмов, протягом відрізку часу Δt_2 виникає n_2 відмов і т.д.) дорівнює похідній ймовірності

$$\prod_{i=1}^{k} p\left(n_1,\Delta t_1\right) p\left(n_2,\Delta t_2\right)\ldots p(n_k,\Delta t_k).$$

Зокрема, виконання вимоги відсутності наслідку означає, що розподіл числа відмов на будь-якому проміжку часу не залежить від реалізації потоку до та після цього проміжку часу.

Потік називають *ординарним* якщо

$$\lim_{\Delta t \to 0} \frac{q(2, \Delta t)}{\Delta t} = 0,$$

де $q(2, \Delta t)$ – ймовірність виникнення меншою мірою двох відмов протягом проміжку часу довжиною Δt.

Ординарність означає практичну неможливість виникнення двох чи більше відмов одночасно.

Введемо деякі додаткові поняття. Провідна функція потоку визначається як математичне очікування числа відмов за час t:

$$W(t) = M[\eta(t)]. \quad (1)$$

Очевидно, що $W(t)$ – ненегативна неубутна функція. Ця функція до того ж практично завжди диференційована, та існує величина

$$\omega(t) = \frac{dW(t)}{dt}, \quad (2)$$

яку називають *параметром потоку відмов.*

Очевидно, що у стаціонарного потоку параметр $\omega(t)=\omega$, тобто є постійною величиною та не залежить від часу. Провідна функція при цьому являється лінійною функцією часу, тобто $W(t)= \omega t$.

Розглянемо, чи можна припускати виконання властивостей ординарності, стаціонарності та відсутності наслідків в потоках відмов реальних систем управління технологічними процесами.

Одночасні відмови декількох елементів можуть виникати через зміну умов експлуатації понад допустимих меж. Проте надійність займається вивченням поведінки системи тоді коли умови експлуатації знаходяться в допустимих межах.

Тому при описі надійності потоки відмов зазвичай можна приймати ординарними.

В той же час є ряд причин, що обумовлюють нестаціонарність і наслідок. Нестаціонарність може мати місце із-за наявності періоду приробітку після пуску системи. Однією з основних причин і нестандартності, і наслідку являється зміна в часі умов експлуатації – температури, вібрації, запиленості, кваліфікації обслуговуючого персоналу та пов'язаної з цим якості технічного обслуговування та інше (навіть в допустимих межах). Ці зміни, що відбуваються по визначеному (невипадковому) закону, призводять до нестаціонарності. Випадкові зміни обумовлюють наслідки, які можна пояснити наступним чином. Наприклад, при погіршення умов експлуатації збільшується параметр потоку відмов. Умови експлуатації, отже і параметр потоку відмов не можуть змінюватись миттєво. Якщо на якому небуть відрізку часу параметр потоку має підвищене значення, то, ймовірно, на суміжному відрізку параметр потоку також буде мати підвищене значення.

Наслідок може мати місце через недостатню якість відновлення, коли властивості системи не повністю регенеруються після відмови, а також в ситуації, коли відмова одного елемента викликає погіршення умов роботи інших елементів.

3.2. Властивості найпростішого потоку. Потік, що одночасно володіє властивостями стаціонарності, ординарності та відсутністю наслідків називають найпростішим або однорідним пуассонівським. В цього потоку ймовірність виникнення n відмов (n=0, 1, 2…) на відрізку часу довжиною t визначається розподілом Пуассона:

$$P\{\eta(t) = n\} = \frac{(at)^n}{n!} e^{-at}, \quad (3)$$

де a – параметр цього розподілу.

Розподіл Пуассона при різних значеннях at приведено на Рис.3.

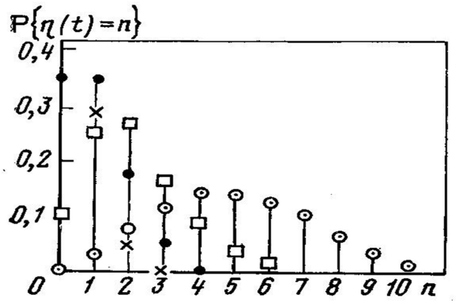

Рис. 3. Розподіл Пуассона: × – αt=0,5; ● – αt=1; □ – αt=2; ○ – αt=5.

Відповідно (1) і (3) провідна функція цього потоку визначається як

$$W(t)=\sum_{n=0}^{\infty} n\frac{(at)^n}{n!}e^{-at}=e^{-at}at\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(at)^{n-1}}{(n-1)!}.$$

Позначивши n–1=k, отримаємо

$$W(t)=e^{-at}at\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(at)^k}{k!}=e^{-at}ate^{at}=at.$$

Звідси видно, що ω=a, тобто параметр ω у випадку найпростішого потоку дорівнює параметру а пуассонівського розподілу.

Допустимо у виразі (3) n=0. Тоді

$$P\{\eta(t)=0\}=e^{-at}=e^{-\omega t}.$$

Ймовірність відмов на відрізку довжиною t дорівнює ймовірності події, що полягає в тому, що час T між відмовами більше, ніж t:

$$P\{T>t\}=e^{-\omega t}, \tag{4}$$

тобто час між відмовами підпорядковується експоненціальному закону розподілу.

Умови використання найпростішого потоку випливають з граничної теореми А. Я. Хинчина [18, 19]. Відповідно цієї теореми сума m незалежних стаціонарних та ординарних потоків при досить загальних умовах та при $m\to\infty$ прагне до найпростішого потоку. Кожна система складається з досить великого числа елементів. Якщо не можна виділити елемент з превалюючим значенням параметру потоку відмов (тобто потік відмов кожного з елементів малий) та умови експлуатації незмінні (потоки відмов кожного з елементів незалежні і стаціонарні), то можна допустити застосування найпростішого потоку для описання відмов відновлювальної системи.

3.3. Процес відновлення. Скористаємося другим способом надання потоку відмов, розглядаючи випадкові величини – напрацювання між відмовами ξ_1, ξ_2, ξ_3... Допустимо, що всі ці величини включаючи напрацювання до першої відмови ξ_1, взаємно незалежні та розподілені з однією і тією ж щільністю розподілу $f(t)$. Такий потік носить назву *процесу відновлення*.

Розглянемо зв'язок між параметром потоку відмов ω(t) і щільністю розподілу $f(t)$. Попередньо відзначимо що в інтервалі (t, t+dt) ймовірність відмови приблизно рівна ω(t)dt.

В деякому інтервалі часу (t, t+dt) відмова може мати місце при наявності однієї з двох протилежних подій:

– якщо на інтервалі (0, t) до цього не було відмов і на інтервалі (t, t+dt) відмова відбулася вперше;

–якщо на інтервалі (0, t) відмови мали місце, при чому остання з них відбулася на інтервалі (t–y, t–y+dt), а далі на інтервалі (t–y+dt, t) відмов не було.

Ймовірність першої події $f(t)dt$, ймовірність відмови в інтервалі ($t–y$, $t–y+dt$) приблизно рівна $\omega(y)dy$ ймовірність наступної відмови в інтервалі (t, $t+dt$)= $f(t-y)dt$. Враховуючи що ($0<y<t$), отримаємо ймовірність другої події

$$\int_0^t f\left(t-y\right)\omega(y)dydt.$$

Тоді після скорочення dt приходимо до наступного інтегрального рівняння

$$\omega\left(t\right)=f\left(t\right)+\int_0^t f\left(y\right)\omega(t-y)dy. \tag{5}$$

Параметр потоку відмов залежить від часу, і в загальному випадку процес відновлення відноситься до класу нестаціонарних потоків.

Вирішити рівняння (5) можна численними методами або з допомогою перетворення Лапласа. Позначимо

$$\omega^*\left(s\right)=\int_0^\infty \omega\left(t\right)e^{-st}dt; f^*\left(s\right)=\int_0^\infty f(t)e^{-st}dt$$

і врахуємо, що перетворення Лапласа згортки двох функцій має вигляд

$$\int_0^\infty\left[\int_0^t \omega\left(t-y\right)f(y)dy\right]e^{-ts}dt=\omega^*\left(s\right)f^*(s).$$

Тоді з (5) отримаємо перетворення по Лапласу значення параметру потоку відмов

$$\omega^*\left(s\right)=f^*/\left[1-f^*(s)\right]. \tag{6}$$

На Рис. 4 наведено приблизний вигляд (крива 1) функції $\omega(t)$, що є рішенням рівняння (5) для випадку, коли $f(t)$ – щільність нормального розподілу.

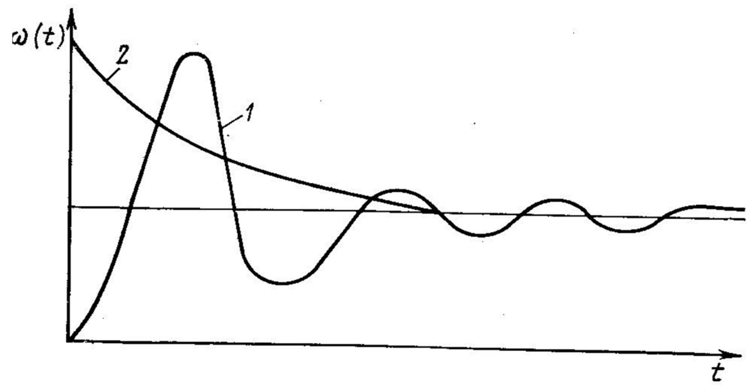

Рис. 4. Залежність параметра потоку відмов від часу:
1 – процес відновлення; 2 – неоднорідний пуассонівський потік

Одна з властивостей перетворення Лапласа полягає у граничній поведінці функції $\omega(t)$, а саме:

$$\lim_{t\to\infty}\omega\left(t\right)=\lim_{s\to 0}\omega^*\left(s\right)=\lim_{s\to 0}\frac{s\int_0^\infty f(t)e^{-st}dt}{1-\int_0^\infty f(t)e^{-st}dt}=\frac{\int_0^\infty f(t)dt}{\int_0^\infty tf(t)dt}=\frac{1}{\theta}, \tag{7}$$

де $\theta=\int_0^\infty tf\left(t\right)dt$ – математичне очікування напрацювання між відмовами (при приведених допущеннях $\theta=\tau$).

Таким чином, з (7) виходить, що параметр потоку відмов в процесі відновлення прагне до постійного значення.

Допустимо, що в процесі відновлення випадкова величина – напрацювання між відмовами має експоненціальний розподіл зі щільністю, яку описує вираз: $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$.

Тоді перетворення по Лапласу цієї щільності має вигляд:

$$f^*(s) = \int_0^\infty \lambda e^{-\lambda t} e^{-st} dt = \lambda / (\lambda + s).$$

Підставивши цей вираз в (6) отримаємо $\omega^*(s) = \frac{\lambda}{s}$ та відповідно, $\omega(t) = \lambda = const$.

Таким чином, найпростіший потік є окремим випадком процесу відновлення при експоненціальному розподілі напрацювань між відмовами.

4. Висновки. Розглянуті питання побудови багатовимірних інфокомунікаційних мереж майбутніх поколінь. Показано, що основною проблемою для цих мереж є створення системи управління, яка буде мати визначені параметри надійності.

Визначені поняття потоку відмов для систем з відновленням. Проаналізовані основні властивості стаціонарних і нестаціонарних потоків відмов. Розглянуті властивості найпростішого потоку, в якому ймовірність виникнення відмов визначається розподілом Пуассона. Розглянутий процес відновлення – потік відмов, в якому напрацювання між відмовами взаємно незалежні та розподілені з однією і тією ж щільністю розподілу. Показано, що найпростіший потік є поодиноким випадком процесу відновлення при експоненціальному розподілі напрацювань між відмовами.

В загальному випадку процес відновлення може бути використаний для систем (елементів), в яких розподіл напрацювань між відмовами не являється експоненціальним, при чому цей розподіл не залежить ні від часу, ні від порядкового номеру відмови, ні від напрацювання до попередньої відмови. Така незалежність має місце в тому випадку, коли відновлення властивостей системи після відмови є повним, а умови експлуатації не змінюються в часі.

Література

1. Варакин Л. Е. Будущее поколение инфокоммуникационных сетей – FGN / Л. Е. Варакин // XXI Международная конференция МАС-2004 «Инфокоммуникационные сети XXI века», Москва, 2004 // – Режим доступу : http://niits.ru/public/2004/2004-039.pdf

2. Яновский Г. Г. Конвергенция в инфокоммуникационных сетях [Електронний ресурс] / Г. Г. Яновский. – Санкт-Петербург : 2010. – 172 с. // Режим доступу :http://seti.sut.ru/admin61/editor_files/file_upload/conv_info.pdf

3. Битнер В. Н. Сети нового поколения – NGN : учебноепособиедляВУЗов / В. Н. Битнер, Ц. Ц. Михайлова. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2011. – 226 с.

4. Bhushan N. Network densification: the dominant theme for wireless evolution into 5G / N. Bhushan, Li Junyi, D. Malladi et al. // IEEE Communications Magazine. USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers. – 2014. – Vol. 52, No. 2. – P.82-89.

5. Коновалов Г.В. Многомерные сети как философия сетей FGN // Материалы VII международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации — ПТСПИ’2007». 10-12 октября 2007. – Владимир: – 2007.

6. Gasparyan A.S. Multidimensional MatrixNetworks: a New Approach to ModellingSocial Networks. Abstracts // InternationalSocial Network Conference. SUNBELT,XXIII Cancun, Quantana Rao, Mexico, February 11, 2003.

7. Коновалов Г.В. Многомерные сети – будущее инфокоммуникационных сетей // Электросвязь. – 2008. – №4. – С. 28-32.

8. Maksymyuk T. Stochastic Geometry Models for 5G Heterogeneous Mobile Networks / T. Maksymyuk, M. Brych M., V. Pelishok // Smart Computing Review. – April, 2015. – Vol. 5, No. 2. – P. 89-101.

9. Максимюк Т. А. Оптимізація параметрів гетерогенних мереж мобільного зв’язку на основі фрактальної геометричної моделі / Т. А. Максимюк, М. В. Брич, М. М. Климаш // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку. – 2015. – №4(38). – С. 5-16.

10. Коновалов Г. В. Пространственные представления структур сетей синхронизации и их описание с помощью многомерных матриц / Г. В. Коновалов // Метрология и измерительная техника в связи. – 2004. – № 6.

11. Орлов Є. В. Програмно-конфігуровані мережі (SDN): архітектура, міжнародна стандартизація / Є. В. Орлов // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку. – 2014. – №4(32). – С. 85-91.

12. Коновалов Г. В. Создание виртуальных многомерно-матричных моделей сигнальных, сетевых и сигнально-сетевых структур в качестве средства для исследования материальных объектов мира информационной реальности / Г. В. Коновалов // XIII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь». Том 1. 17-19 апреля 2007 г. – Воронеж: изд-во ВГУ, 2007.

13. Скрипниченко А. А. Методи автоматизованого управління мережами NGN з різнорідним трафіком / А. А. Скрипниченко,Л. О. Харлай, Л. І. Танцюра // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку. – 2015. – №6(40) – С. 56-63.

14. Торошанко Я. І. Застосування системи ключових показників ефективності для управління телекомунікаційними мережами // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку. – 2015. – №6(40) – С. 72-77.

15. Жебка В. В.Сучасні системи управління інфокомунікаційною мережею як складним об’єктом / В. В. Жебка //Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку. – 2013. – №3(27). – С. 31-36.

16. Варфоломеєва О. Г. Нові підходи до управління телекомунікаційними мережами / О. Г. Варфоломеєва, Т. В. Колченко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку. – 2013. – №1(25). – С. 41-44.

17. Торошанко Я. І. Задачі моніторингу та аналізу параметрів телекомунікаційних мереж / Я. І. Торошанко, А. О. Булаковська, М. С. Височіненко, В. С. Шматко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №3. – С. 62-69.

18. Муха В. С. Анализ многомерных данных / В. С. Муха. – Минск.: Технопринт, 2004.

19. Стеклов В. К. Система управления сетью связи второго уровня TMN с комбинированным принципом управления / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, Л. В. Рудык, А. С. Стец // Зв’язок. – 2005. – №5. – С. 66-69.

Автор статті

Федюнін Сергій Анатолійович – директор навчально-наукового інституту менеджменту та підприємництва, Державний університет телекомунікацій, м. Київ. Тел.: +380 (63) 121 64 91. E-mail: s.fediunin@gmail.com

Author of the article

Fedyunin Serhiy Anatoliyovych – director of educational-science institute of management and enterprise, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (63) 121 64 91. E-mail: s.fediunin@gmail.com

Дата надходження в редакцію: 16.01.2016 р. Рецензент: д.т.н., проф. Л. Н. Беркман