

Торошанко О. С. Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова

## ДІАГНОСТИКА ТА ІДЕНТИФІКАЦІЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ З РОЗПІЗНАВАННЯМ ТИПУ ВІДМОВИ

Запропоновані методики вибору контрольованих параметрів для досягнення необхідного рівня достовірності перевірки стану телекомунікаційної мережі, визначення їх кількості і послідовності контролю. Для оцінки технічного стану елементів каналу зв'язку як діагностичні ознаки пропонується використовувати параметри завад, корисних сигналів, вторинні статистичні характеристики. Розроблено алгоритм ідентифікації завад в лінійних динамічних системах.

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа, діагностика несправностей, управління надійністю, діагностичні параметри, ідентифікація завад

Toroshanko O. S. O. S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications

## DIAGNOSTICS AND DISREPAIRS IDENTIFICATION IN TELECOMMUNICATION NETWORKS WITH A RECOGNITION OF THE FAILURE TYPE

The methods of choosing controlled parameters to achieve the required level of reliability of checking the state of the telecommunication network, determining their number and control sequence are proposed. The method of evaluating diagnostic parameters in conditions of failure, which provides reduction of errors, is improved. The method is based on the use of combination of estimates for various statistical characteristics. In order to assess the technical condition of the communication channel elements as diagnostic features, it is proposed to use the parameters of failure, useful signals, secondary statistical characteristics. The algorithms of identification of failure, in telecommunication systems are developed. Methods of calculation definition of characteristics of technical means of failures detection, their identification and reliability management algorithms are relatively small in complexity, are simply formalized and algorithmized. This makes it possible to configure the reliability management models and their real-time adaptation to changing network operating conditions.

The results of theoretical studies of the troubleshooting systems characteristics are brought to specific analytical expressions, algorithms or functional schemes. Using these results, you can reasonably determine the parameters and structure of troubleshooting systems. Obtained results and recommendations may be used for design of management systems and telecommunication networks of different scale and purpose.

In further research it is expedient to develop a flexible troubleshooting algorithm that takes into account the adjustment of the probability of failure of the elements after each search step.

**Keywords:** telecommunication network, failures diagnostics, reliability management, diagnostic parameters, failures identification.

Торошанко А. С. Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова

## ДИАГНОСТИКА И ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ С РАСПОЗНАВАНИЕМ ТИПА ОТКАЗА

Предложены методики выбора контролируемых параметров для достижения необходимого уровня достоверности проверки состояния телекоммуникационной сети, определения их количества и последовательности контроля. Для оценки технического состояния элементов канала связи в качестве диагностических признаков предлагается использовать параметры помех, полезных сигналов, вторичные статистические характеристики. Разработан алгоритм идентификации помех в линейных динамических системах.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, диагностика неисправностей, управление надежностью, диагностические параметры, идентификация помех

© Торошанко О. С., 2018

## 1. Вступ

Ефективне і надійне функціонування телекомунікаційних мереж може бути здійснене за умови відповідного управління ресурсами та їх використанням в залежності від стану мережі, зовнішніх та внутрішніх умов її роботи. Насущною задачею є розробка системи аналізу і прогнозування стану мережі в цілому, а також діагностування і ідентифікації несправностей окремих її компонентів [1, 2]. Це допоможе по різних критеріях вибирати оптимальні методи керування трафіком, виявляти загрози щодо перевантаження місця і вживати заходи по завчасній їх ліквідації.

Функціонування мережі відбувається в умовах дії як зовнішнього середовища (вхідний потік заявок, зовнішні дії і т.д.), так внутрішнього середовища (завади, відмови, викликані недосконалістю технологій виготовлення, фізичної міцності елементів, конструктивними, алгоритмічними, програмними, технологічними помилками, експлуатаційними дефектами, старінням (зносом) елементів системи). Необхідною умовою забезпечення необхідного рівня надійності є введення в систему управління мережею підсистеми контролю і діагностики і дотримання при експлуатації мереж наступних принципів [3]:

- локальна діагностика елементів мережі дозволяє знаходити відмови у момент їх виникнення за призначенням, а також при періодичній плановій діагностиці;
- централізована діагностика припускає наявність в мережах центрів техобслуговування, виконуючих одночасно функції збору і обробки статистичних даних;
- забезпечується великий ступінь автоматизації процесів діагностики і зміна конфігурації мережі і її окремих компонентів.

## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В публікаціях [4, 5] для рішення задач управління надійністю телекомунікаційних мереж розглянуті використання математичного апарату аналізу чутливості складних систем. Рекомендації, отримані в цих роботах, мають здебільшого загальний характер. Їх використання потребує нових нетрадиційних підходів до розв'язання проблеми в цілому, оснований на застосуванні методів штучного інтелекту.

В роботі [6] розглянута система моніторингу параметрів об'єктів телекомунікаційної мережі зі збільшеною інформативністю про точки проведення вимірювань. Окреслені шляхи підвищення ефективності системи за рахунок зменшення навантаження на канал зв'язку з центром обробки даних. Однак, практичне використання запропонованої модернізованої системи для локального та глобального моніторингу розглянуто для випадку, коли зміна координат вимірювальних пристроїв та вимірюваних параметрів незначна.

Для контролю стану мережі та окремих її фрагментів в роботі [7] запропонований алгоритм активного розподілу спроб одночасного доступу до слоту з рівномірним часовим розподілом. В сучасних телекомунікаційних мережах розподіли потоків заявок далекі від рівномірного, тому асимптотичні оцінки, що отримані, приведуть до не виправдано оптимістичних висновків. Реалістичні оцінки можна отримати при застосуванні нейромережних моделей, які мають адаптуватися під стрибки навантаження та варіації імовірнісних розподілів потоків заявок [8, 9].

Один із таких способів контролю стану мережі, що базується на використанні нейронних мережних моделей, розглянутий в роботі [10]. Запропонована нейронна модель для багатокрокового передбачення стану черги, отже і можливої несправності фрагменту мережі, на стороні приймача телекомунікаційної мережі. Якщо нейронна мережа налаштована на відслідковування динаміки системи і показує, що квадратична помилка є незначною, вважається, що виконаний крок відповідає наперед передбаченому виходу системи. Приведені результати моделювання продуктивності мережі показали, що запропонована схема має кращі ключові показники ефективності в порівнянні зі звичайною схемою вибору порога черги, однак потребує значних обчислювальних потужностей.

### 3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є локалізація та ідентифікація несправностей телекомунікаційної мережі складної динамічної системи, та розробка способів вибору контрольованих параметрів для досягнення необхідного рівня достовірності перевірки стану об'єкту, визначення їх кількості і послідовності контролю.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні задачі:

- для оцінки технічного стану елементів каналу зв'язку визначаються діагностичні ознаки і параметри: завади, корисні сигнали, вторинні статистичні характеристики;
- розглянуті способи і алгоритми ідентифікації завад в лінійних динамічних системах.

#### 4.1. Діагностика відмов в задачі управління надійністю телекомунікаційних мереж

У вирішенні задачі управління надійністю телекомунікаційних мереж слід враховувати, що її функціонування відбувається в умовах дії як зовнішнього середовища (вхідний потік заявок, дії обслуговуючого персоналу, зміна топології і конфігурації мережі, зовнішні дії і т.д.), так внутрішнього середовища (відмови, викликані недосконалістю технологій виготовлення, фізичної міцності елементів, конструктивними, алгоритмічними, програмними, технологічними помилками, експлуатаційними дефектами, старінням (зносом) елементів системи).

Системи контролю складних діагностичних систем виконують функції інформаційно-вимірювальних і відновних систем і вирішують задачі [11, 12]:

- визначення технічного стану та придатності системи для виконання своїх функцій;
- визначення місця і причин несправностей;
- отримання початкових даних для прогнозування технічного стану системи;
- отримання початкових даних для аналізу впливу умов експлуатації на якість

функціонування системи;

- аналіз даних для вдосконалення конструкції і технологій виробництва контрольованої системи.

Серед вказаних задач контролю питання технічної діагностики і локалізація місця несправності є одним з основних для забезпечення необхідної надійності системи і визначуваної нею можливих інформаційно-економічних втрат.

Для забезпечення безвідмовної роботи в складні системи закладається певний запас стійкості у вигляді різного роду надмірності: сигнальної, інформаційної, апаратурної, структурної, часової, енергетичної, експлуатаційної і т.д. Додаткові апаратні ресурси, призначені для боротьби з відмовами, знаходяться в стані резерву і включаються за наслідками визначення несправної ланки в системі.

Розглянемо принципи вибору діагностичної ознаки у каналі зв'язку як об'єкти діагностичної перевірки. Аналіз досліджень ефективності і надійності елементів телекомунікаційної мережі показує, що близько 50% помилок в повідомленні, що приймається, а також пошкоджень відбувається в каналах зв'язку [2, 13]. Тому одним з перспективних шляхів підвищення достовірності і надійності мережі передачі даних є розробка методів, що дозволяють аналізувати і передбачати аварійні ситуації, здійснювати оптимальним способом пошук несправностей в каналі зв'язку.

Для оцінки технічного стану об'єкту в якості ключового показника ефективності доцільно приймати показник якості, що характеризує властивості об'єкту успішно вирішувати поставлені задачі в заданих умовах (спотворення сигналу, помилки в повідомленні, що передається, точність обробки вхідної дії, пропускну спроможність елемента мережі і т.д.) [14, 15].

Показник якості є функцією вхідного сигналу, початкових умов, параметрів системи і її структури, діючих збурень і завод.

Так зв'язок середнього квадрата помилки динамічної системи, яка описується рівнянням  $T \dot{x}(t) + y(t) = k x(t)$ , де вхідний сигнал  $\dot{x}(t)$  є сума корисного сигналу

$S(t) = m_x(t) = a \cdot bt + \frac{ct^2}{2}$  і завади з нульовим математичним очікуванням і спектральною

щільністю  $S_N(\omega) = \frac{\sigma_N^2 \alpha}{(\alpha^2 + \omega^2)}$  дається виразом [16]  $\bar{\varepsilon}^2 = (ckT)^2 + \frac{\sigma_N^2 \alpha k^2}{T(1 + \alpha T)}$ .

Методика вибору параметрів для отримання необхідного рівня достовірності при наступних початкових даних полягає в наступному [16].

Позначаючи через  $p_i$  імовірність справного стану  $i$ -ого елемента.

Апаратура контролю має наступні характеристики по імовірності оцінки параметра:

$p_u$  і  $(1 - p_u)$  – імовірності правильної і помилкової оцінки справного параметра;

$p_n$  і  $(1 - p_n)$  – імовірності правильної і помилкової оцінки несправного параметра.

Визначимо такі показники стану об'єкту :

$P = \prod_{i=1}^n p_i$  – апіорна імовірність справного стану об'єкту;

$P_j = \prod_{i \in A_j} p_i$  імовірність справного стану по  $j$ -му параметру;

$P(x_j) = P_j p_n + (1 - P_j)(1 - p_n)$  – імовірність події  $X_j$ , при якій в результаті контролю здійснена правильна оцінка  $a_j$  ;

$P_j^* = \frac{P_j p_n}{P_j p_n + (1 - P_j)(1 - p_n)}$  – імовірність того, що параметр є дійсно справним, якщо

апаратура контролю визначила його таким.

З урахуванням вказаних показників апостеріорна імовірність працездатного стану об'єкту після перевірки параметра рівна

$$P_{(a_j)} = \frac{P_j^*}{P_j} P. \quad (1)$$

Алгоритм досягнення найбільшої апостеріорної імовірності оцінки стану об'єкту і вибору контрольованого параметра з урахуванням (1) полягає в наступному.

На першому кроці перевіряється  $j$ -й параметр, що максимізує функцію

$$\gamma_j = \frac{P_{(a_j)} - P}{\tau} = \frac{P}{\tau} \left( \frac{P_j^*}{P_j} - 1 \right),$$

тобто відповідає фактично максимальному відношенню  $\frac{P_j^*}{P_j}$ .

На другому кроці вибирається такий параметр, значення  $\gamma_{k/j}$  якого найбільше, за умови, що величина була вибрана найкращим чином. Тоді

$$\gamma_{k/j} = \frac{P_{(a_j)}}{\tau} \left( \frac{P_j^*}{P_j} - 1 \right).$$

Число узятих для перевірки параметрів визначається необхідним рівнем достовірності

оцінки стану об'єкту.

Вибір максимальної якості контрольованих параметрів і послідовності їх контролю з використанням інформаційного підходу розглянутий в роботі [16].

Всі параметри вибираються до тих пір, поки ентропія (невизначеність стану об'єкту) не знизиться до допустимої величини, що еквівалентно практично нульовому отриманню інформації. Вибір можливий як по параметрам об'єкта контролю, так і по показниках їх чутливості до змін, що відбуваються в об'єкта контролю.

Якщо відома функціональна залежність показника якості або іншої ознаки стану об'єкту  $Q = f(a_1, \dots, a_N)$  від параметрів  $a_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N$ ), то лінійна частина приросту  $\Delta Q$  пов'язана з відхиленням параметра  $\Delta a_i$  повним диференціалом

$$\Delta Q = \frac{\partial f(a_1, a_2, \dots, a_N)}{\partial a_1} \Delta a_1 + \dots + \frac{\partial f(a_1, a_2, \dots, a_N)}{\partial a_N} \Delta a_N = \sum_{i=1}^N \frac{\partial f(a_1, a_2, \dots, a_N)}{\partial a_i} \Delta a_i,$$

де  $\frac{\partial f(a_1, a_2, \dots, a_N)}{\partial a_i}$  – коефіцієнт чутливості показника якості по  $a_i$  параметру.

Якщо параметр  $a_i$  є узагальненим:  $a_i = \psi(z_1, z_2, \dots, z_M)$ , то  $\Delta a_i = \sum_{j=1}^M \frac{\partial a_i}{\partial z_j} \Delta z_j$ .

На рис. 1 представлена типова замкнена динамічна система як об'єкт контролю.

Для такої системи коефіцієнт чутливості по коефіцієнту передачі  $k = k_1 k_2$  при

$$S_c(\omega) = \frac{2T_c D}{1 + \omega^2 T_c^2} \quad \text{і} \quad S_{\Pi}(\omega) = N \quad \text{визначається як} \quad \frac{\partial \overline{\epsilon}_{\text{ош}}^2}{\partial k}.$$

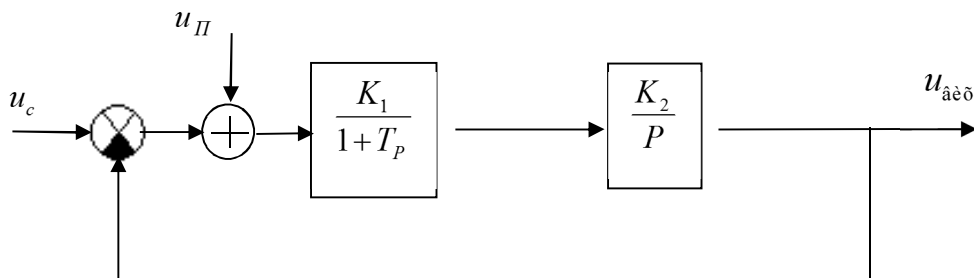


Рис 1. Замкнена динамічна система

Використовування того або іншого методу вибору параметрів для контролю з метою пошуку несправності визначається початковими даними про об'єкт контролю, можливостями апаратури контролю по достовірності оцінки і часу за визначенням відмови і іншими чинниками.

#### 4.2. Ідентифікація завод в телекомунікаційних системах

Появу несправності в телекомунікаційній мережі можна розглядати як результат дії зовнішніх збурень і завод з певними значеннями характеристик випадкового процесу, контроль яких і дає оцінку стану об'єкту.

Задача ідентифікації збурень і завод виконує важливу роль при оцінці функціонування систем в нормальних і аварійних режимах [17].

Розглянемо задачу ідентифікації завод (визначення статистичних характеристик зовнішніх збурень, діючих на об'єкт, а також внутрішніх завод і місць їх локалізації) в одновимірній лінійній стаціонарній системі (рис. 2).

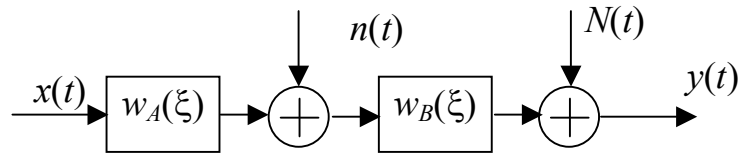


Рис. 2. Структурна схема розімкненої системи з завадою  $n(t)$ , що локалізується, і приведеною до виходу завадою  $N(t)$

Вважаються відомими:

- характеристики всієї системи  $w(\xi)$  і її окремих ланок  $w_A(\xi)$  і  $w_B(\xi)$ ;
- виміряні значення стаціонарних сигналів  $x(t)$  і  $y(t)$  (їх середні значення  $m_x$  і  $m_y$  і кореляційні функції  $K_x(\tau)$  і  $K_y(\tau)$ ).

Для стаціонарної завади  $N(t)$ , приведеної до виходу системи, маємо:

$$m_N = m_y - \int_0^{\infty} w(\xi) m_x d\xi;$$

$$K_N(\tau) = K_y(\tau) - \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} w(\xi) w(\eta) K_x(\tau + \xi - \eta) d\xi d\eta;$$

$$S_N(\omega) = S_y(\omega) - |W(j\omega)|^2 S_x(\omega),$$

де  $S_y(\omega)$ ,  $S_x(\omega)$  і  $S_N(\omega)$  – спектральна щільність сигналів і завади;

$W(j\omega)$  – частотна характеристика, що відповідає імпульсній характеристиці  $w(\xi)$ .

Як показано в [17] для структурно локалізованої завади  $n(t)$  відповідні характеристики  $m_n$ ,  $K_n(\tau)$ ,  $S_n(\tau)$  мають вигляд:

$$m_n = \frac{m_y}{W_B(j0)} - W_A(j0) m_x; \quad (2)$$

$$K_n(\tau) = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \bar{w}_B(\xi) \bar{w}_B(\eta) K_y(\tau + \xi - \eta) d\xi d\eta - \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \bar{w}_A(\xi) \bar{w}_A(\eta) K_x(\tau + \xi - \eta) d\xi d\eta; \quad (3)$$

$$S_n(\omega) = \frac{S_y(\omega)}{|W_B(j\omega)|^2} - |W_A(j\omega)|^2 S_x(\omega), \quad (4)$$

де  $\bar{w}_B(\xi)$  – імпульсна характеристика, зворотна  $w_B(\xi)$ .

Ідентифікація і статистичні характеристики завади визначаються відповідно до формул (2), (3), (4). По відомих кореляційних функціях вхідного і вихідного сигналу визначаються відповідні спектральні щільності.

## 5. Обговорення результатів дослідження

У комплексі задач контролю телекомунікаційної мережі, як складної динамічної системи визначення місця несправності є однією з основних для досягнення необхідної надійності системи і визначувананих нею можливих інформаційно-економічних втрат.

За умов обмеженого часу пошуку та виявлення несправностей при проведенні діагностики можливих відмов в елементах мережі важливою задачею є виначення затримок в розпізнаванні (прийнятті рішення) про стан об'єкту, що перевіряється, при використуванні у якості ознак

різних характеристик випадкового процесу, а також значень параметрів елементів, вимірюваних на фоні завад.

Оскільки визначення зворотних імпульсних характеристик у виразах (2), (3), (4) для знаходження  $K_n(\tau)$  пов'язано з певними аналітичними труднощами, то раціональнішим рішенням є використання формули Вінера – Хінчина

$$K_n(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_n(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega.$$

Рішення може бути знайдене шляхом перетворення Фур'є чисельним методом.

На основі отриманих математичних співвідношень можуть бути обчислені помилки першого і другого роду при визначенні несправності при різних значеннях апріорній імовірності елементів, що перевіряються.

Для підвищення достовірності визначення несправності може бути запропонована кратність перевірки елементів.

## 6. Висновки

Запропоновані методики вибору контрольованих параметрів для досягнення необхідного рівня достовірності перевірки стану об'єкту, визначення їх кількості і послідовності контролю.

Для оцінки технічного стану елементів каналу зв'язку як діагностичні ознаки пропонується використовувати параметри завад, корисних сигналів, вторинні статистичні характеристики. Розроблено алгоритм ідентифікації завад в лінійних динамічних системах.

Вдосконалено метод оцінки діагностичних параметрів в умовах завад, який, завдяки комбінації оцінок по різних статистичних характеристиках, у порівнянні з існуючими методами, дає зменшення похибок. Методики розрахункового визначення характеристик технічних засобів виявлення відмов, їх ідентифікації та алгоритмів управління надійністю мають порівняльно малу трудомісткість, досить просто формалізуються та алгоритмізуються.

В подальших дослідженнях доцільна розробка алгоритму гнучкої програми пошуку несправності, що враховує коректування імовірності відмов елементів після кожного кроку пошуку.

## Список використаної літератури

1. 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.
2. Kurose J. F. Computer Networking: A Top-Down Approach, 7th Ed / James F. Kurose, Keith W. Ross. – Pearson Education, Inc., 2017. – 864 p.
3. Крук Б. И. Телекоммуникационные системы и сети: учебное пособие. В 3 томах. Том 1 – Современные технологии / Б.И. Крук, В.Н. Попантопуло, В.П. Шувалов; под ред. проф. В.П. Шувалова. – Изд. 3-е – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 647 с.
4. Shooman M.L. Reliability of Computer Systems and Networks – Fault Tolerance, Analysis and Design / M.L. Shooman. – John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002. – 546 p.
5. Торошанко Я. І. Управління надійністю телекомунікаційної мережі на основі аналізу чутливості складних систем / Я. І. Торошанко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. – №3. – С. 31-36.

6. 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 V. B., L.O. Komarova, O. O. Ilin // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №1. – С. 5-11.
7. Lu Z. Overload Control for Signaling Congestion of Machine Type Communications in 3GPP Networks / Zhaoming Lu, Qi Pan, Luhan Wang, Xiangming Wen // PLOS ONE. – December 9, 2016. – 11 p. DOI:10.1371/journal.pone.0167380.
8. Тархов Д. А. Нейросетевые модели и алгоритмы / Д. А. Тархов. – Москва: Издательство «Радиотехника», 2014. – 352 с.
9. Галушкин А. И. Нейронные сети: основы теории / А. И. Галушкин. Москва: Горячая линия – Телеком, 2010. – 496 с.
10. Vinogradov N. Development of the control method of telecommunication network overload on the basis of the neural model / N. Vinogradov, M. Stepanov, Ya. Toroshanko, V. Cherevyk, A. Savchenko, V. Hladkykh, O. Toroshanko, T. Uvarova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies [Восточно-Европейский журнал передовых технологий]. – 2019. – №2/9(98). – С. 67-73.
11. Weiss G.M. Predicting Telecommunication Equipment Failures from Sequences of Network Alarms. pp. 891 - 896. // Handbook of data mining and knowledge discovery / Eds: Willi Klösgen, Jan M. Zytkow. - Oxford University Press, Inc. New York, NY, USA, 2002. - 1026 pp.
12. Göransson P. Software Defined Networks: A Comprehensive Approach, 2<sup>nd</sup> ed. / Paul Göransson, Chuck Black, Timothy Culver.– Morgan Kaufmann, US, 2017. – 409 p.
13. 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.
14. Stallings W. Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud / W. Stallings. – Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016. – 544 p.
15. Vinogradov N. A. Comparative analysis of the functionals of optimal control corporate computer network / Nick A. Vinogradov, Alina S. Savchenko. – Journal of Qafqaz University (Mathematics and Computer Science). – 2013. – Vol. 1, Nr. 2. – PP 156-167.
16. Бигелу С. Сети: поиск неисправностей, поддержка и восстановление / С. Бигелу ; пер. с англ. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. – 1200 с.
17. Tanenbaum, Andrew S. Distributed systems: principles and paradigms /Andrew S. Tanenbaum, Maarten Van Steen. – Pearson Education. Inc. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, 2007. – 686 PP.

### References

1. Tolubko V. B., Berkman L. N., Komarova L. O., Orlov Ye. V. (2014). Multicriterion Optimization of Software-Defined Networks. *Telekomunikatsiini ta Informatsiini Tekhnolohii*, 4, 5-11.
2. Kurose J. F., and Ross K. W. (2017). *Computer Networking: A Top-Down Approach*, 7th ed. Pearson Education, Inc., 864.
3. Kruk B. I., Popantonopulo V. N., Suvalov V. P. (2003). *Telecommunication Systems and Networks. Vol. 1, Modern Technologies*. Moscow: Goryachaya Liniya – Telekom, 647.
4. Shooman M. L. (2002). *Reliability of Computer Systems and Networks – Fault Tolerance, Analysis and Design*. JohnWiley&Sons, Inc., NewYork, 546.
5. Toroshanko Ya. I. (2016). Managing the Reliability of the Telecommunication Network Based on Analysis of the Complex Systems Sensitivity // *Telekomunikatsiini ta Informatsiini Tekhnolohii*, 3, 31–36.



6. Tolubko V. B., Komarova L. O., Ilin O. O. (2014). An Effective Structure of the Dynamic Monitoring System of Telecommunication Network Objects Using Mobile Measuring Devices in Real-Time. *Telekomunikatsiini Ta Informatsiini Tekhnolohii*, 1, 5-11.
7. Zhaoming Lu, Qi Pan, Luhan Wang, Xiangming Wen. (2016). Overload Control for Signaling Congestion of Machine Type Communications in 3GPP Networks. *PLOS ONE*. – December 9, 2016. – 11 p. DOI:10.1371/journal.pone.0167380.
8. Tarhov D. A. (2014). *Neural Network Models and Algorithms*. Moscow: Radiotekhnika, 352.
9. Galushkin A. I. (2010). *Neural Networks: Basic Theory*. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 496.
10. N. Vinogradov, M. Stepanov, Ya. Toroshanko, V. Cherevyk, A. Savchenko, V. Hladkykh, O. Toroshanko, T. Uvarova. (2019). Development of the Control Method of Telecommunication Network Overload on the Basis of the Neural Model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. No. 2/9(98), 67-73.
11. Weiss G. M. (2002). Predicting Telecommunication Equipment Failures from Sequences of Network Alarms. pp. 891-896. *Handbook of Data Mining and Knowledge Discovery / Eds: Willi Klösgen, Jan M. Zytkow*. - Oxford University Press, Inc. New York, NY, USA, 1026 pp.
12. Paul Göransson, Chuck Black, Timothy Culver. (2017). *Software Defined Networks: A Comprehensive Approach*, 2<sup>nd</sup> ed. /– Morgan Kaufmann, US, 2017. – 409 p.
13. Olifer D. G., Olifer N. A. (2010). *Computer Networks. Principles, Technologies, Protocols*. Sankt-Peterburg: Piter, 944.
14. Stallings W. (2016). *Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud*. Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 544.
15. Nick A. Vinogradov, Alina S. Savchenko. (2013). Comparative Analysis of the Functionals of Optimal Control Corporate Computer Network. *Journal of Qafqaz University (Mathematics and Computer Science)*. Vol. 1, No. 2, 156-167.
16. Bigelou S. (2005). *Networks: Troubleshooting, Support and Recovery*. Sankt-Peterburg:: BHV- Peterburg, 1200.
17. Tanenbaum Andrew S., Maarten Van Steen. (2007). *Distributed Systems: Principles and Paradigms*. Pearson Education. Inc. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, 686.

***Автор статті (Author of the article)***

**Торошанко Олександр Станіславович** – викладач кафедри телекомунікацій (Toroshanko Oleksandr Stanislavovich – lecturer of telecommunication department). Phone: +380 93 056 5775. E-mail: toroshanko@gmail.com.