

ВИЗНАЧЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОГО КРИТЕРІЮ ОПТИМАЛЬНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК ПРИ ПОБУДОВІ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯМИ

Varfolomeieva O.G., Ilin O.A., Perepelitsa N.L. Determination of a generalizing criterion of optimality using the method of expert estimates in the construction of an optimal telecommunication management system.

The article light up the properties of the functioning of existing management systems for telecommunication networks, the trends of their development and the characteristics of the quality of their functioning. Design for a rational version of the system is associated with the choice of a large and heterogeneous set of parameters - types and models of equipment, modifications of this equipment, management objects, types of operating systems, protocol stacks. The optimal number of indicators of the quality of functioning of the control system is determined, which makes sense to use when solving problems of synthesis of the optimal system. The necessity of using vector synthesis methods and expert assessments when solving problems of design and optimization of management systems is substantiated. A technique of expert assessments is proposed when choosing the main criteria for design of optimal telecommunications management system. Weights for particular optimality criteria are determined. The coherence and reliability of the obtained results was checked by determination of the coefficients of variation, concordance and rank correlation. An algorithm has been developed for finding a generalized optimality criterion for determining the optimal system for managing telecommunications networks according to selected criteria.

Keywords: telecommunication network, management system, expert, optimality criteria, optimization methods

Варфоломеєва О.Г., Ільїн О.О., Перепелиця Н.Л. Визначення узагальненого критерію оптимальності з використанням методу експертних оцінок при побудові оптимальної системи управління телекомунікаціями

У статті проводиться аналіз особливостей функціонування існуючих систем управління телекомунікаційними мережами, тенденцій їх розвитку та характеристик якості їх функціонування. Визначено оптимальну кількість показників якості функціонування системи управління, яку має сенс використовувати при вирішенні завдань синтезу оптимальної системи. Обґрунтовується необхідність використання методів векторного синтезу і експертних оцінок при вирішенні задач побудови та оптимізації систем управління. Пропонується методика експертних оцінок при виборі основних критеріїв побудови оптимальної системи управління телекомунікаціями. Визначено вагові коефіцієнти для окремих критеріїв оптимальності. Розроблено алгоритм визначення узагальненого критерію оптимальності для синтезу оптимальної системи управління телекомунікаційними мережами за обраними критеріями.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, система управління, методи оптимізації, експерт, критерії оптимальності.

Варфоломеєва О. Г., Ільїн О.А., Перепелиця Н.Л. Определение обобщающего критерия оптимальности с использованием метода экспертных оценок при построении оптимальной системы управления телекоммуникациями

В статье проводится анализ особенностей функционирования существующих систем управления телекоммуникационными сетями, тенденций их развития и характеристик качества их функционирования. Определено оптимальное количество показателей качества функционирования системы управления, которые имеет смысл использовать при решении задач синтеза оптимальной системы. Обосновывается необходимость использования методов векторного синтеза и экспертных оценок при решении задач построения и оптимизации систем управления. Предлагается методика экспертных оценок при выборе основных критериев построения оптимальной системы управления телекоммуникациями. Определены весовые коэффициенты для частных критериев оптимальности. Разработан алгоритм определения обобщенного критерия оптимальности для синтеза оптимальной системы управления телекоммуникационными сетями по выбранным критериям.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, система управления, методы оптимизации, эксперт, критерии оптимальности

Вступ

Побудова оптимального варіанта системи управління телекомунікаціями пов'язана з вибором великої і дуже різномірної множини параметрів - типів і моделей устаткування, яке застосовується, кількості об'єктів управління, типів операційних систем, стеків протоколів, їх параметрів тощо [1]. Крім того, на вибір оптимальної системи часто впливають міркування комерційного характеру, тому формалізувати постановку задачі оптимізації в таких випадках досить важко.

Таким чином, проектування систем управління зводиться до проблеми оптимізації, яка включає в себе широке коло завдань, починаючи з вибору критерію оптимізації, визначення структури і сукупності параметрів системи і закінчуючи завданнями оцінки заданих показників функціонування і ефективності управління [2].

Оптимальна система управління являє собою певний проміжний варіант з такими значеннями параметрів, які істотно поліпшують показники її ефективності. Критеріями оптимальної роботи системи управління є її продуктивність і надійність, які, в свою чергу визначаються конкретними показниками оцінки, наприклад, часом реакції, коефіцієнтом помилок, вартістю системи і т. д. Ці параметри, які прямо або побічно впливають на критерії оптимальності, можуть варіюватися з метою підвищення показників ефективності роботи системи управління. При розробці оптимальної системи управління необхідно задаватися граничними значеннями критерію оптимальності. Так, продуктивність системи можна оцінювати логічними значеннями "Працює"/"Не працює", і тоді оптимізація зводиться до діагностики несправностей і приведення мережі в будь-який працездатний стан. Іншим крайнім випадком є тонка настройка мережі, при якій параметри працюючої системи можуть варіюватися по продуктивності навіть на кілька відсотків.

Для визначення значення критерію оптимізації системи управління виконується процедура збору первинних даних про роботу мережі: статистики про стан об'єктів управління, кількості циркулюючої в системі управління інформації, часу реакції об'єкта на команду і т.д.

Далі виконується етап власне аналізу, який вимагає більш активної участі людини, а також використання таких складних засобів як, наприклад, експертні системи, що акумулюють практичний досвід багатьох фахівців в області телекомунікацій.

Методи експертних оцінок - це методи організації роботи з фахівцями-експертами і обробки думок експертів, виражених у кількісній і / або якісній формі з метою підготовки інформації для прийняття рішень. Зміст методу експертних оцінок полягає в систематизованому відборі і аналітичній обробці ряду приватних оцінок досліджуваних категорій. Основні принципи, на яких будується робота експертних груп: гранична простота і ясний фізичний зміст процедури для експертів, перенесення всіх складнощів формалізації на етап обробки даних, максимально можливе скорочення часу проведення експертизи і виключення її багатоетапності.

Всю множину найбільш часто використовуваних критеріїв ефективності роботи системи можна поділити на дві групи. Одна група характеризує продуктивність роботи системи, друга - надійність. Продуктивність системи вимірюється за допомогою показників двох типів - часових, які оцінюють затримку, що вноситься системою при виконанні обміну даними, і показників пропускну здатності, що відбивають кількість інформації, переданої системою в одиницю часу.

В якості часової характеристики продуктивності системи управління використовується такий показник як час реакції. Час реакції визначається як інтервал часу між виникненням запиту операційної системи автоматизованої системи управління до робочої станції, будь-якого об'єкта управління або мережевого сервісу і отриманням відповіді на цей запит. Очевидно, що значення цього показника залежать від типу об'єкта, до якого здійснюється запит, а також від поточного стану елементів мережі, її завантаженості і т.д.

Швидка передача інформації між об'єктами системи управління визначається також пропускну спроможністю системи управління і кількістю переданої в ній інформації.

Пропускна здатність мережі передачі даних дає досить точну оцінку швидкості і обсягу переданої інформації, однак, цей критерій не враховує поділу інформації на службову і користувачеві. Будь-протокол передачі даних містить поля даних для службової інформації. Введення критерію «кількість інформації» дозволяє визначити обсяги службової і призначеної для користувача інформації. Таким чином, вибір цього критерію визначає можливість урахування заміни протоколу або стека протоколів для мережі передачі даних системи управління.

Викладення основного матеріалу дослідження

Найважливішою характеристикою системи управління є її надійність, яка визначається здатністю правильно функціонувати протягом заданого періоду часу. Надійність вимірюється інтенсивністю відмов і середнім часом напрацювання на відмову. Основним способом підвищення надійності є надмірність, на основі якої реалізуються різні варіанти відмовостійких архітектур. Система управління являє собою розподілену мережу, яка включає велику кількість елементів різних типів, і для забезпечення відмовостійкості необхідна надмірність по кожному з ключових елементів мережі [3].

Як приклад можна розглянути гіпотетичну систему управління телекомунікаціями, що характеризується наступною сукупністю показників:

- 1) кількість інформації, необхідної для забезпечення заданого спектру послуг (Q);
- 2) час реакції об'єкта управління на команду системи управління (t);
- 3) надійність системи управління (L);
- 4) вірогідність передаваної інформації (імовірність помилки) в системі управління ($P_{ош}$);
- 5) вартість системи управління (E).

Виходячи з відносної важливості вищенаведених показників, визначаються значення вагових коефіцієнтів c_1, \dots, c_5 для результуючої цільової функції F [4,5].

$$F = c_1 Q + c_2 t + c_3 L + c_4 E + c_5 P_{ош} \quad (1)$$

Вагові коефіцієнти c_i повинні задовольняти наступним умовам:

$\sum_{i=1}^m c_i = 1$ і $c_i > 0$ (m – кількість показників, які характеризують систему) і визначаються таким чином:

$$c_i = \frac{c_i'}{\sum_{i=1}^m c_i'} \quad (2),$$

де c_i' – вагові коефіцієнти в абсолютному виразі, а c_i – відносні (нормовані) вагові коефіцієнти.

Призначення абсолютних ваг може здійснюватися кількома групами експертів. Наприклад, одну групу можуть скласти експерти - розробники телекомунікаційної апаратури, другу групу - системні фахівці в галузі телекомунікацій та управління, третю групу - експерти, які мають великий досвід в експлуатації таких систем. Абсолютні значення ваг c_i' - призначаються за стобальною шкалою, причому, чим більш значущий показник, тим більша вага йому відповідає. Опитувані експерти заповнюють таблицю опитування, проставляючи оцінки в балах кожному запропонованому рішення. Зразок такої таблиці з результатами опитування представлений в табл. 1.

Таблиця 1

| Оцінка в балах вагів c_i | № групи експертів, № експерта | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-----|-----------|-----------|-----|-----------|-----------|-----|-----------|
| | I група | | | II група | | | III група | | |
| | 1 | ... | N | 1 | ... | n | 1 | ... | n |
| c_1 | 30 | ... | c_{11n} | c_{121} | ... | c_{12n} | c_{131} | ... | c_{13n} |
| c_2 | 100 | ... | c_{21n} | c_{221} | ... | c_{22n} | c_{231} | ... | c_{23n} |
| c_3 | 50 | ... | c_{31n} | c_{321} | ... | c_{32n} | c_{331} | ... | c_{33n} |
| c_4 | 70 | ... | c_{41n} | c_{421} | ... | c_{42n} | c_{431} | ... | c_{43n} |
| c_5 | 30 | ... | c_{51n} | c_{521} | ... | c_{51n} | c_{531} | ... | c_{53n} |

З таблиці 1 видно, що з точки зору першого експерта першої групи найбільш пріоритетною є система управління з мінімальною затримкою керуючої інформації. Далі за значущістю йдуть показники достовірності і надійності системи. Найменш важливими для цього експерта є обсяг переданої інформації і вартість системи.

На підставі формули (2) розраховуються нормовані вагові коефіцієнти і проводиться підрахунок середнього значення оцінок. Результати розрахунків мають вигляд, представлений в табл. 2.

Подальша статистична обробка даних опитування полягає у визначенні ступеня надійності отриманих оцінок.

Надійність оцінок визначається за статистичними характеристиками, що описує розкид оцінок окремих експертів і груп експертів або, тобто статистичними характеристиками, що визначає ступінь узгодженості оцінок.

Таблиця 2

| Нормовані вагові коефіцієнти c_i | № групи експертів, № експерта | | | | | | | | | Середнє значення \bar{c}_i |
|---------------------------------------|-------------------------------|-----|-----------|-----------|-----|-----------|-----------|-----|-----------|------------------------------------|
| | I група | | | II група | | | III група | | | |
| | 1 | ... | n | 1 | ... | n | 1 | ... | n | |
| c_1 | 0,107 | ... | c_{11n} | c_{121} | ... | c_{12n} | c_{131} | ... | c_{13n} | \bar{c}_1 |
| c_2 | 0,357 | ... | c_{21n} | c_{221} | ... | c_{22n} | c_{231} | ... | c_{23n} | \bar{c}_2 |
| c_3 | 0,179 | ... | c_{31n} | c_{321} | ... | c_{32n} | c_{331} | ... | c_{33n} | \bar{c}_3 |
| c_4 | 0,25 | ... | c_{41n} | c_{421} | ... | c_{42n} | c_{431} | ... | c_{43n} | \bar{c}_4 |
| c_5 | 0,107 | ... | c_{51n} | c_{521} | ... | c_{51n} | c_{531} | ... | c_{53n} | \bar{c}_5 |

Якщо N експертів дають оцінки m рішенням, то розкид оцінок, що даються N експертами рішенню P_j (системі S_i , ваговому коефіцієнту c_i) характеризується величиною варіації:

$$v = \frac{\sqrt{\sigma_i^2}}{\bar{c}_i} \quad (3),$$

\bar{c}_i – середнє значення оцінки; σ_i^2 – дисперсія оцінки.

Дисперсія оцінки визначається по наступній формулі:

$$\sigma_i^2 = \sum_{l=1}^N \Delta c_i^2 / N - 1,$$

де $\Delta c_i = c_i - \bar{c}_i$, а N – загальна кількість експертів в усіх групах.

Отримані результати дозволяють зробити первісні висновки про надійність експертної оцінки. Якщо величина варіацій $v_i \leq 0,3$ (при $i=1 \dots m$), то результати оцінки можна вважати задовільними.

Ступінь погодженості оцінок за сукупністю всіх оцінюваних рішень визначається коефіцієнтом конкордації W . Ступінь погодженості рішень усіх груп експертів характеризується коефіцієнтом рангової кореляції ρ .

Коефіцієнт конкордації визначається по формулі:

$$W = 12 \sum_{i=1}^m \Delta S_i^2 / \left[N^2 (m^3 - m) - N \sum_{j=1}^N T_j \right], \quad \text{де} \quad (4)$$

$$\Delta S_i = S_i - \bar{S}_i \quad (5)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^N R_{ji} \quad (6)$$

$$\bar{S}_i = (S_1 + \dots + S_m) / m \quad (7)$$

$$T_j = \sum_{l=1}^{L_j} (t_{jl}^3 - t_{jl}) \quad (8)$$

У формулах (4) - (8) R_{ji} – ранг, привласнений i -му рішенню j -м експертом, S_i – сума рангів, привласнених i -му рішенню всіма експертами, \bar{S}_i – середнє значення суми рангів по всім m рішеннях, L_j – число груп рішень з рангами, що збіглися, для j -го експерта, l – номер групи з рангами, що збіглися, t_j – кількість рішень, що збіглися, j -го експерта в групі l

Ранжирування означає присвоєння елементам деякої множини порядкових номерів у залежності від убування (зростання) якої-небудь кількісної чи якісної ознаки. Порядковий номер, що привласнюється елементу, є рангом цього елемента. Ранжирування елементів у даному випадку здійснюється за ступенем убування привласнених балів – найменший ранг привласнюється ваги, що отримала найвищий бал.

Якщо кілька порівнюваних вагових коефіцієнтів мають однакове значення, то їм привласнюється однаковий ранг, рівний середньому арифметичному.

Отримані значення рангів для вагових коефіцієнтів $c_1', c_2' \dots c_n'$ представлені у виді табл. 3.

Погодженість змінюється в межах $0 \leq W \leq 1$ і є задовільною, якщо $W \geq 0,5$, доборою, якщо $W \geq 0,7$.

Коефіцієнт рангової кореляції ρ , що характеризує ступінь погодженості оцінок усіх груп експертів, визначається по формулі:

$$\rho = 1 - \left[m \sum_{i=1}^m (R_{i1} - R_{i2} - R_{i3})^2 \right] / m(m^2 - 1), \quad (9)$$

де R_{i1}, R_{i2}, R_{i3} –ранги, привласнені i -му рішенню I, II и III групою експертів.

Коефіцієнт рангової кореляції змінюється в межах $0 \leq \rho \leq 1$ і є задовільним, якщо $\rho \geq 0,85$ і добрим, якщо $\rho \geq 0,95$.

Якби показники W і ρ були незадовільними, то необхідно було б з'ясувати чи відбувся розкид оцінок через невелике число експертів чи він є характерним для всієї групи експертів. Необхідно знайти експерта винного в порушенні погодженості і виключити його зі складу експертної комісії. У ряді випадків ця міра не приводить до поліпшення результатів і тоді, як правило, проводиться додатковий тур опитування.

Таблиця 3

| Ранги рішень R_i | № групи експертів, № експерта | | | | | | | | | Сума рангів S_i |
|-----------------------|-------------------------------|-----|-----------|-----------|-----|-----------|-----------|-----|-----------|-------------------------|
| | I група | | | II група | | | III група | | | |
| | 1 | ... | n | 1 | ... | n | 1 | ... | n | |
| R_1 | R_{111} | ... | R_{11n} | R_{121} | ... | R_{12n} | R_{131} | ... | R_{13n} | S_1 |
| R_2 | R_{211} | ... | R_{21n} | R_{221} | ... | R_{22n} | R_{231} | ... | R_{23n} | S_2 |
| R_3 | R_{311} | ... | R_{31n} | R_{321} | ... | R_{32n} | R_{331} | ... | R_{33n} | S_3 |
| R_4 | R_{411} | ... | R_{41n} | R_{421} | ... | R_{42n} | R_{431} | ... | R_{43n} | S_4 |
| R_5 | R_{511} | ... | R_{51n} | R_{521} | ... | R_{52n} | R_{531} | ... | R_{53n} | S_5 |

Визначення оптимальної системи за обраними критеріями може здійснюватися двома способами [5,6].

Перший спосіб полягає у виборі такої системи, для якої цільова функція

$$F = c_1 Q + c_2 t + c_3 L + c_4 E + c_5 P_{\text{ош}} \text{ є мінімальною.}$$

Таким чином, в цьому випадку завдання зводиться до вибору експертами оптимальних вагових коефіцієнтів.

Другий спосіб полягає в ранжируванні всіх можливих систем і оптимальною вважається система, яка має мінімальну суму рангів.

Кожен з описаних способів має свої переваги і недоліки. Перший спосіб має більш узагальнений характер і дозволяє скористатися обраними ваговими коефіцієнтами по відношенню до інших систем. Другий спосіб представляється на перший погляд менш гнучким, однак, є більш надійним, тому що порівнює конкретні варіанти побудови системи, а не відносну важливість окремих показників системи.

Необхідно відзначити, що ефективність застосування методу експертних оцінок для вирішення задачі оптимізації системи управління залежить від чіткої і правильної організації роботи експертних груп, для чого потрібно послідовне виконання наступних процедур:

- формулювання мети експертного опитування;
- Розробка та затвердження технічного завдання на проведення експертного опитування;
- розробка детального сценарію проведення збору та аналізу інформації (критерії переваги, ранжування і т.д.)
- підбір складу експертів відповідно до їх компетентності;
- проведення збору експертної інформації;
- аналіз експертної інформації;
- при наявності декількох турів - повторення двох попередніх етапів;
- інтерпретація отриманих результатів і підготовка висновку.

Переходимо до визначення суб'єктивної цільової функції, яка враховує обрані критерії на базі методу експертних оцінок, що дозволить побудувати і впровадити оптимальну систему управління телекомунікаціями.

Будемо вважати оптимальною систему управління, що забезпечує виконання умов:

$$k_p = f_p(k_1, k_2, \dots, k_n) = \min$$

$$k_i \leq k_{im}, \quad i = 1..3,$$

де n – кількість критеріїв, за якими проводиться багатокритеріальна оптимізація (в розглянутому прикладі $n=5$).

k_{im} – значення показника якості k_i максимально допустиме, з точки зору вимог замовника до системи управління.

Під $k_{1m}, k_{2m}, k_{3m}, k_{4m}, k_{5m}$ вважаємо такі показники якості СУ:

k_{1m} – сумарна максимально допустима пропускна спроможність каналів СУ (цей показник визначається, виходячи з ресурсів обладнання, яке призначене для системи управління).

k_{2m} – максимально допустимий час реакції об'єкта управління на команду системи управління;

k_{3m} – максимально допустимий коефіцієнт простою обладнання;

k_{4m} – максимально допустима імовірність помилки каналів передачі інформації СУ;

k_{5m} – – максимально допустима вартість системи управління.

Таким чином, в даному випадку якість системи управління характеризується вектором $K = \langle K_1, \dots, K_n \rangle$, де $n=5$.

Тоді, результуючий критерій оптимальності може бути визначено як:

$$K_p = \sum_{i=1}^n C_i f_i(K_i), \quad (10)$$

$f_i(k_i)$ - деяка безрозмірна, у загальному випадку, нелінійна функція значень показників якості k_i , що вибирається, виходячи з вимог до системи управління, і яка має зміст втрати, пов'язаної зі зростанням (погіршенням) даного показника якості.

Прийmemo функцію $f_i(k_i)$:

$$f_i(k_i) = [(k_i - k_{i0}) / k_{im}]^2, \quad (11)$$

Вибір функції $f_i(k_i)$, як функції квадратичного характеру, пов'язаний з тим, щоб показати, що еквівалентна вага показника k_i тим більше, чим ближче величина $(k_i - k_{i0})$ до гранично допустимого значення k_{im} .

k_{i0} - є мінімально можливе значення показника якості k_i в межах множини допустимих систем M_0 при заданій сукупності вихідних даних $\{Y, O_s\}$ та ігноруванні значень всіх інших $(m-1)$ показників якості.

З урахуванням співвідношень отримуємо узагальнений критерій оптимальності.

$$f_p = \min \left[\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{k_{im}^2} (k_i - k_{i0})^2 \right] = \min \left[\frac{C_1}{k_{1m}^2} (k_1 - k_{10})^2 + \frac{C_2}{k_{2m}^2} (k_2 - k_{20})^2 + \dots + \frac{C_5}{k_{5m}^2} (k_5 - k_{50})^2 \right] \quad (12)$$

Висновки

1. Система управління телекомунікаційними мережами є складною системою, яка характеризується великою кількістю показників якості, деякі з яких знаходяться в протиріччі один з одним. Тому при побудові оптимальної системи при визначенні узагальненого критерію оптимальності доцільно використовувати методи векторного синтезу і методи експертних оцінок.

2. Проведено порівняльний аналіз існуючих методів об'єднання суперечливих критеріїв, досліджено їх переваги та недоліки.

3. Визначено оптимальну кількість показників якості, яку необхідно враховувати при вирішенні задач синтезу оптимальної системи за обраними критеріями.

4. Запропоновано методика експертних оцінок щодо параметрів якості систем управління телекомунікаційними мережами та визначено вагові коефіцієнти для часткових критеріїв при побудові систем управління (за методом ранжирування з використанням критерію переваги).

5. Наведено засоби перевірки узгодженості і вірогідності запропонованої методики шляхом визначення та оцінки коефіцієнтів варіації, конкордації і рангової кореляції.

6. Розроблено алгоритм отримання узагальненого критерію оптимальності системи управління, який дозволяє одержати ефективні значення параметрів системи управління з врахуванням поставлених до неї вимог.

Список використаної літератури

1. Principles for a Telecommunications Management Network (Принципи управління телекомунікаційними мережами) //ITU-TRecommendation M.3010. –2010.
2. Толубко В. Б. Методи оптимізації / В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман. – Київ: ДУТ, 2016. – 442 с.
3. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / [Поповський В.В., Олійник В.Ф. та ін.]. – Х.: СМІТ, 2006. – 564 с.
4. Стеклов В. К. Проектування телекомунікаційних мереж / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман. – К.: Техніка, 2002. – 792 с. 1
5. Методи підвищення показників якості системи управління телекомунікаційними мережами: монографія / [В. В. Хиленко, Л. Н. Беркман, Г. Ф. Колченко, О. Г. Варфоломеєва]. – К.:Норіта-плюс, 2007.– 236 с.
6. Колченко Г.Ф., Варфоломеєва О.Г. Построение модели оптимального проектирования системы управления телекоммуникационными сетями // Праці 2 міжнародної конференції “Проблеми управління мережами та послугами телекомунікацій в умовах конкурентного ринку”: “Вісник” УБЕНТЗ-2003.-№2. - С.15-18.

Автори статті

Варфоломеєва Оксана Григорівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Ільїн Олег Олександрович – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри комп’ютерних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Перепелиця Наталя Леонідівна – старший викладач кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ.

Authors of the article

Varfolomeieva Oksana Grygorivna – candidate of science (technic), associate professor, associate professor of Department of Telecommunication systems and networks, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Ilin Oleg Alexandrovich – doctor of science (technic), associate professor, associate professor of Department of Computer science, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Perepelitsa Natalia Leonidovna – senior teacher of Department of Telecommunication systems and networks, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 11.02.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Л.Н. Беркман