

## ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ КЛЮЧОВИХ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

**Toroshanko Ya. I. The application of the key performance indicators systems for a telecommunication networks management.** There is certain concept of Key Performance Indicators (KPI) and feature of their application in the complex technical systems. The analysis of the key indexes system is conducted for the quality of service management of telecommunication network. A general problem of optimization of telecommunication network algorithm is considered on the basis of KPI. It is set that the use of statistical approach it is possible to select dependences between the key parameters of network. Expedience and efficiency of the use for this method of cross-correlation regressive analysis is shown. The results of cross-correlation analysis are used for providing of the safe passing to information for networks, prognostications and prevention the overload of the controlled network fragment. For automation of treatment of measurings results there is offered to use the method of approximation of reiteration curves of KPI changes on a minimum of middle square error. At the use of KPI of telecommunication network as a complex system with the delays of alarm and control information it is possible to forecast its state and decide the tasks of quality management of service real-time.

**Keywords:** telecommunication networks, management, quality of service, key performance indicators, KPI, complex system, correlation regressive analysis, middle square error

**Торошанко Я. І. Застосування системи ключових показників ефективності для управління телекомунікаційними мережами.** Проведено аналіз системи ключових показників ефективності (КПЕ) для управління якістю сервісу телекомунікаційної мережі. Розглянуто в загальному вигляді алгоритм задачі оптимізації телекомунікаційної мережі на основі КПЕ. Встановлено, що при використанні статистичного підходу можна виділити залежності між ключовими параметрами мережі. Показана доцільність і ефективність використання для цього методу кореляційно-регресійного аналізу. Розглянуто метод апроксимації кривих повторюваності змін КПЕ по мінімуму середньо-квадратичної помилки.

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа, управління, якість обслуговування, ключові показники ефективності, КПЕ, складна система, кореляційно-регресійний аналіз, середньо-квадратична помилка

**Торошанко Я. И. Применение системы ключевых показателей эффективности для управления телекоммуникационными сетями.** Проведен анализ системы ключевых показателей эффективности (КПЭ) для управления качеством сервиса телекоммуникационной сети. Рассмотрен в общем виде алгоритм задачи оптимизации телекоммуникационной сети на основе КПЭ. Установлено, что при использовании статистического подхода можно выделить зависимости между ключевыми параметрами сети. Показана целесообразность и эффективность использования для этого метода корреляционно регрессионного анализа. Рассмотрен метод аппроксимации кривых повторяемости изменений КПЭ по минимуму средне-квадратической ошибки.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, управление, качество обслуживания, ключевые показатели эффективности, КПЭ, сложная система, корреляционно-регрессионный анализ, средне-квадратическая ошибка

**Постановка задачі.** Цільова функція оптимізації параметрів і структури телекомунікаційних мереж містить велику кількість параметрів, які визначають показники якості сервісу  $QoS$ . Постає задача вибору найбільш суттєвих для кожного конкретного випадку ключових параметрів функціонування мережі. Критерії оптимізації ключових показників ефективності функціонування мережі є неоднозначними і суперечливими. Вони залежать як від структури мережі, яка не змінюється на великих інтервалах часу, так і від поточного стану мережі, який динамічно змінюється в залежності від її завантаженості і інших зовнішніх впливів [1-4].

При вирішенні задачі аналізу і прогнозування відмов стану телекомунікаційної мережі завжди існує априорна невизначеність стану телекомунікаційної мережі. Відомі різноманітні

методи прогнозу параметрів та стану мережі [5-7], але слід завжди враховувати на ефект так званого “прокляття розмірності” – показникового зростання складності модельного опису та обчислювальної складності при вирішенні цих задач. В роботах [5-7] пропонуються різні способи вирішення цієї задачі, в [8] запропонований метод, в основі якого лежить екстраполяція за квадратичним поліномом. Всі ці способи мають свої переваги і недоліки, багато з них є непридатними для практичного використання через неврахування суттєво нестационарного характеру досліджуваних процесів, а також необхідністю великої кількості вимірювань на надто коротких інтервалах часу.

Багато питань теорії і практики аналізу і контролю ключових характеристик мережного обладнання та каналів передачі, зокрема, завдань контролю та управління надійністю є недостатньо вивченими. В ряді робіт [1, 5, 9] розглядаються задачі пошуку несправностей, пов'язаних з невірною конфігурацією функціонально справних мережних вузлів – серверів, комутаторів, маршрутизаторів. У роботі [10] визначено, що при збільшенні масштабу мережі вже не можна нехтувати імовірністю фізичної відмови мережних вузлів.

У роботі [11] досліджені питання функціонування мережі в умовах застосування ненадійних вузлів і елементів, тобто резервування за логікою “ $m$  з  $n$ ” або іншій логіці. У роботах [1, 12] пропонується задачу пошуку несправних вузлів вирішувати шляхом дублювання або гарячого резервування кожного комутаційного вузла і постійного порівняння станів реального об'єкту з еталоном (активна реплікація) Такий підхід вимагає несуттєвого ускладнення і дорожчання системи в цілому. Теоретично можлива заміна фізичної активної репліки комп'ютерною моделлю [13], але на практиці такий підхід може бути прийнятним лише для окремих, найбільш відповідальних мережних вузлів та сегментів мережі.

### **Основні поняття і визначення**

В загальному випадку ключові показники ефективності (КПЕ; англ. Key Performance Indicators, KPI) – система оцінок, яка застосовується в управлінні організаціями і підприємствами для отримання порівняльних оцінок рівня досягнення поставлених цілей (стратегічних і тактичних).

Застосування оцінок по KPI в складних технічних системах поширене в меншій мірі. Недостатньо розвинені математичні моделі і методи оцінки ключових показників ефективності, прогнозу параметрів і стану, а також оптимізації інформаційних систем (ІС) на основі отримуваних оцінок KPI. У роботах [3, 14] зроблена спроба заповнити цей пробіл.

Зауважимо, що термін KPI часто використовується в різних значеннях, що пов'язано з трактуванням англійського слова *performance* українською чи російською мовою. Згідно стандарту ISO 9000:2008 слово *performance* використовується у двох значеннях: *результативність* і *ефективність*.

В науковій літературі по зв'язку і інформаційним технологіям [15-16] під терміном КПЕ (KPI) розуміють ключові показники співвідношень між досягнутими результатами і витраченими ресурсами.

При вирішенні задач оптимізації характеристик ІС необхідно враховувати параметри, від яких залежить якість сервісу, і взаємозв'язок між цими параметрами. Враховуючи випадковий характер зміни параметрів мережних компонентів та стану системи в цілому для задач управління надійністю мережі застосовуються методи математичної статистики.

Оцінка множини параметрів і стану системи в процесі її функціонування, по суті, є задачею багатомірного статистичного (кореляційно-регресійного) аналізу [4]. Для правильного вибору прийнятної розмірності задачі з отриманням достатніх статистик про технічний стан системи можна запропонувати наступний підхід.

Визначаються цілі, що базуються на економічних ключових показниках. На їх основі формулюються загальні задачі оптимізації і частинні технічні задачі оцінки поведінки телекомунікаційної мережі і результатів її функціонування (продуктивність і рівень похибок і втрат при мовних викликах і пересилці пакетів, тощо). Ці послуги будуть оптимізовані і виявлені похибки будуть виключені (або хоча б зведені до припустимого рівня).

При оптимізації параметрів і структури телекомунікаційної мережі до складу цільової функції входить велика кількість основних і додаткових параметрів, від яких залежить якість сервісу *QoS*.

Розглянемо як приклад постановку задачі оптимізації телекомунікаційної мережі [9]. Послідовність етапів оптимізації можна представити у вигляді алгоритму, зображеного на Рис. 1. [14].

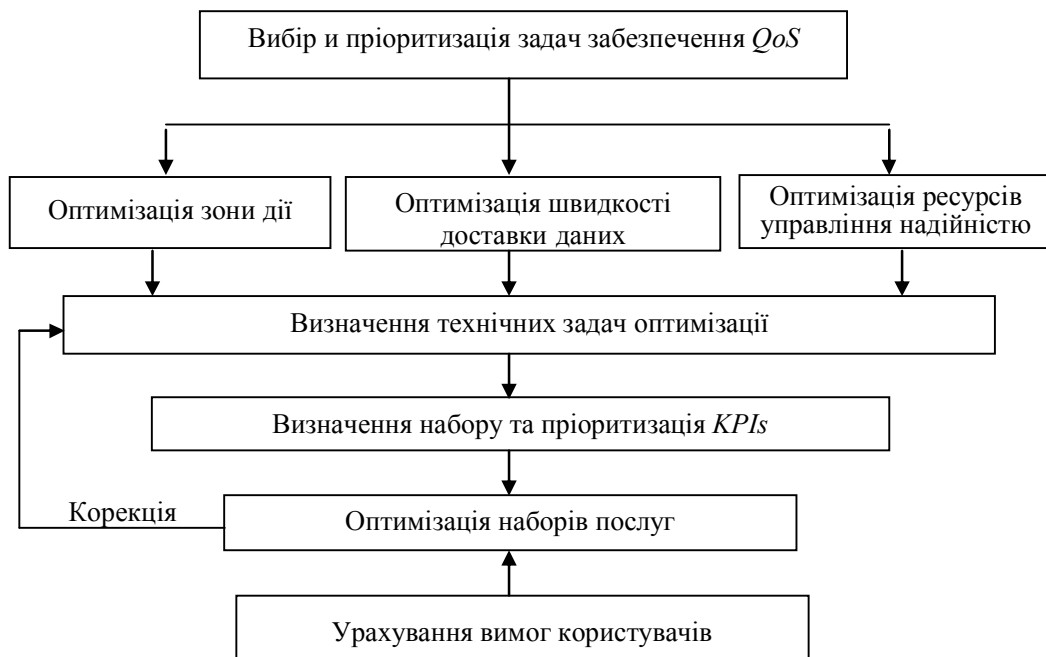


Рис. 1. Алгоритм оптимізації абстрактної ІС за ключовими показниками *KPIs*

### Оцінювання ключових показників ефективності мережі

Зміни ключових показників ефективності телекомунікаційної мережі представляють собою нестационарний випадковий процес, але разом з тим тенденції їх змін схожі. Тому теоретичний і практичний інтерес мають дослідження характеристик їх стохастичного взаємозв'язку. В [17,18] показано, що основними характеристиками стохастичного взаємозв'язку є коефіцієнт множинної кореляції і множинна регресія.

Для автоматизації обробки результатів вимірювань вибирається метод апроксимації кривих повторюваності змін КПЕ. Як показано в [3, 19], найбільш точним і математично обґрунтованим методом є апроксимація поліномами по мінімуму середнього квадрата помилки або апроксимації Паде.

Розглянемо задачу прогнозу  $k$ -ї змінної  $Y_k$ ,  $k = \overline{1, N}$  по  $M$  змінних  $X_m$ ,  $m = 1, 2, \dots, M$ ;  $m \neq k$  [14]. У загальному випадку  $M \neq N$ . При  $m = 1$  маємо рівняння лінійної або поліноміальної регресії незалежної змінної  $X_m$  на залежну змінну  $Y_k$ , при  $m > 1$  маємо систему  $t$  рівнянь множинної регресії змінних  $X_1, X_2, \dots, X_m$  на  $Y_k$ .

У даній задачі незалежні змінні  $X_1, X_2, \dots, X_m$  – це випадкові величини, які не обов'язково є статистично незалежними, тобто розглядається функціональна, а не статистична залежність.

Змінну  $Y_k$  апроксимуємо функцією регресії, що містить оцінки КПЕ і невідомі коефіцієнти  $\{a_0, a_1, \dots, a_m\}$ . Рівняння моделі лінійної регресії незалежних змінних  $X_1, X_2, \dots, X_m$  на залежну змінну  $Y_k$  запишемо в наступному вигляді:

$$Y_k = a_{0k} + a_{1k}X_1 + \dots + a_{mk}X_m + \varepsilon, \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – помилка апроксимації.

Хай  $X_{1j} = X_1^j$ . Тоді можна записати рівняння поліноміальної регресії у вигляді

$$Y_k = a_{0k} + a_{1k}X_1 + a_{2k}X_1^2 \dots + a_{mk}X_1^m + \varepsilon. \quad (2)$$

Параметри моделі регресії оцінюються по вибірці об'єму, узятій з деякої генеральної сукупності. Теоретично генеральна сукупність має нескінченний об'єм або є всім набором даних, який існує у принципі.

Вибірка формується таким чином [14]. За наслідками тесту функціонування мережі фіксуємо першу вибірку незалежних змінних  $X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1m}$  і розраховуємо залежну змінну  $Y_1$ . Потім фіксуємо другу вибірку незалежних змінних  $X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2m}$  і розраховуємо залежну змінну  $Y_2$ .

Продовжуємо процедуру до отримання  $N$  змінних  $Y_k$ ,  $k = \overline{1, N}$ . Одержуємо вибірку із  $N$  спостережень

$$\{Y_1 : X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1m}\}, \{Y_2 : X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2m}\}, \dots, \{Y_N : X_{N1}, X_{N2}, \dots, X_{Nm}\}.$$

Система рівнянь множинної лінійної регресії приймає вигляд

$$\left. \begin{aligned} Y_1 &= a_{01} + a_{11}X_{11} + \dots + a_{m1}X_{1m} + \varepsilon_1 \\ Y_2 &= a_{02} + a_{12}X_{21} + \dots + a_{m2}X_{2m} + \varepsilon_2 \\ &\dots \\ Y_k &= a_{0k} + a_{1k}X_{k1} + \dots + a_{mk}X_{km} + \varepsilon_k \\ &\dots \\ Y_N &= a_{0N} + a_{1N}X_{N1} + \dots + a_{mN}X_{Nm} + \varepsilon_N \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де  $\{a_{0k}, a_{1k}, \dots, a_{mk}\}$ ,  $k = \overline{1, N}$  – невідомі коефіцієнти;

$\varepsilon_k$ ,  $k = \overline{1, N}$  – випадкові помилки, які логічно вважати нормально розподіленими з параметрами  $\{0, \sigma_\varepsilon^2\}$ .

Для отримання оцінок по методу якнайменших квадратів необхідно мінімізувати суму  $S_k$  квадратів відхилень в кожній точці. Якнайкраще наближення відповідає мінімальній величині виразу

$$S_k = \sum_{k=1}^N (Y_k - a_{0k} - a_{1k}X_{k1} - \dots - a_{mk}X_{km})^2. \quad (4)$$

Величина  $S_k$  є мірою помилки, пов'язаною з прив'язкою наявних даних до вибраної моделі регресії.

Мінімум  $S_k$  досягається диференціюванням останнього виразу по коефіцієнтах, прирівнюванням відповідних похідних нулю і рішенням системи рівнянь відносно  $\{a_{0k}, a_{1k}, \dots, a_{mk}\}$ .

Одержуємо систему рівнянь для оцінки часткових коефіцієнтів регресії:

$$\left. \begin{aligned} \hat{Y}_1 &= \alpha_{01} + \alpha_{11}X_{11} + \dots + \alpha_{m1}X_{1m} \\ \hat{Y}_2 &= \alpha_{02} + \alpha_{12}X_{21} + \dots + \alpha_{m2}X_{2m} \\ &\dots \\ \hat{Y}_k &= \alpha_{0k} + \alpha_{1k}X_{k1} + \dots + \alpha_{mk}X_{km} \\ &\dots \\ \hat{Y}_N &= \alpha_{0N} + \alpha_{1N}X_{N1} + \dots + \alpha_{mN}X_{Nm} \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Тут  $\alpha_{0k}, \alpha_{1k}, \dots, \alpha_{mk}$  – оцінки для  $\{a_{0k}, a_{1k}, \dots, a_{mk}\}$ . Оцінки є незміщеними і ефективними, тобто мають мінімальну дисперсію для вибірки  $X_1, X_2, \dots, X_m$  серед всіх лінійних оцінок для прогнозу змінних  $Y_k$ ,  $k = \overline{1, N}$ .

Використовуючи формули (1)-(5) можна розраховувати часткові коефіцієнти регресії.

Як показано в [20], в сучасних мережах між основними ключовими показниками виявляється сильна кореляція. Це пояснюється тим, що вони роблять значний вплив на вимоги до якості сервісу. Виняток становить електронна пошта, оскільки, на відміну від потокового аудіо, відео, Web-сервісу і передачі файлів по протоколу FTP, для неї не критичні ні смуга пропускання каналу, ні затримка доставки. Проте необхідно відзначити, що рівень безпеки і захисту даних є критичним практично для всіх представлених додатків, оскільки навіть для таких видів еластичного трафіку, як електронна пошта, захист даних є невід'ємною вимогою забезпечення якості сервісу QoS.

Результати кореляційного аналізу служать також ключовим індикатором моніторингу і регулювання поточних даних і *Web-сервісу*. Це необхідно для забезпечення безпечної передачі інформації по мережі, прогнозування і запобігання перевантаженням контрольованого мережного фрагмента [21].

**Висновки.** Таким чином, поточний моніторинг і управління рівнем безпеки в мережі, які є невід'ємною частиною задачі загального управління якістю сервісу, можна успішно здійснювати статистичними методами, зокрема, методом кореляційно-регресійного аналізу.

При використанні статистичного підходу можна виділити залежності між ключовими параметрами мережі, що дає можливість побудови системи управління якістю сервісу.

При використанні ключових параметрів ефективності телекомунікаційної мережі як складної системи із затримками сигнальної і управляючої інформації можна прогнозувати її стан і вирішувати задачі управління якістю сервісу систем реального часу.

### Література

1. Reliability, Survivability and Quality of Large Scale Telecommunication Systems: Case Study: Olympic Games / Peter Stavroulakis (Editor) 2003 John Wiley & Sons, Ltd. – 370 p.
2. Parmenter D. Key Performance Indicators (KPI): Developing, Implementing, and Using Winning KPIs / D. Parmenter. – 2-d edition. – John Wiley & Sons, 2010. – 320 p.
3. Торошанко Я. І. Ключові параметри ефективності безпроводових телекомунікаційних мереж та методи їх ідентифікації / Я. І. Торошанко, В. П. Грушевська, М. С. Височіненко, В. С. Шматко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2014. – №4(32). – С. 28-33.
4. Амирханов Э. А. Применение системы ключевых показателей эффективности для оценивания параметров компьютерных сетей / Э. А. Амирханов, С. В. Водопьянов, В. А. Заруцкий, Е. А. Зубарева // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – 2012. – Т.10, №4. – С. 82-86.

5. Salfner F. A Survey of Online Failure Prediction Methods // Felix Salfner, Maren Lenk, Mirosław Malek. – ACM Computing Surveys / F. Salfner. – March 2010. – Vol. 42, No. 3, Article 10. – 42 p.
6. Shooman M. L. Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance, Analysis, and Design / M. L. Shooman. – John Wiley & Sons, Inc, 2002. – 548 p.
7. Liu T. Reliable telecommunication network design problem under node failure / Tie Liu, Wenguo Yang, Ruguo Bu, Jun Huang // 11th International Symposium on Operations Research and its Applications in Engineering, Technology and Management 2013 (ISORA 2013), IET Huangshan, China. – August 23–25, 2013. – P. 1-8.
8. Weiss G. M. Predicting Telecommunication Equipment Failures from Sequences of Network Alarms / G. M. Weiss // Handbook of data mining and knowledge discovery. – Oxford University Press, Inc. New York, NY, USA, 2002. – P. 891-896.
9. Уилсон Э. Мониторинг и анализ сетей. Методы выявления неисправностей / Э. Уилсон. – Москва : Лори, 2002. – 363 с.
10. Tanenbaum A. S. Computer Networks, 5th Ed. / Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. – Prentice Hall, Cloth, 2011. – 960 p.
11. Handbook of Optimization in Telecommunications / Editors: M.G.C. Resende, P.M. Pardalos. – Springer Science & Business Media, 2006. – 1133 p.
12. Mızrak A. T. Detecting Malicious Routers // Ph. D. Dissertation, University of California, San Diego, CA, 2007. – 155 pp.
13. Benslama M. Ad Hoc Networks Telecommunications and Game Theory / Malek Benslama, Mohamed Lamine, Boucenna Hadj Batatia. – John Wiley & Sons, Inc., 2015. – 141 p.
14. Торошанко Я. И. Оптимизация больших информационных систем с диагонально-доминантными матрицами ключевых показателей эффективности / Я. И. Торошанко, В. С. Шматко, М. С. Высочиненко, А. А. Булаковская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №6/4(72). – С.24-29.
15. Ye Ouyang. A Performance Analysis for UMTS Packet Switched Network Based on Multivariate KPIs / Ye Ouyang, Hosein Fallah M. // International Journal of Next Generation Network (IJNGN). – March 2010. – Vol. 2, No. 1. – P. 79-92.
16. Kreher R. UMTS Performance Measurement: A Practical Guide to KPIs for the UTRAN Environment / R. Kreher. – John Wiley & Sons, Ltd, 2006. – 227 p.
17. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ / А. Афифи, С. Эйзен ; пер. с англ. – Москва: Мир, 1982. – 488 с.
18. Мостеллер Ф. Анализ данных и регрессия / Ф. Мостеллер, Дж. Тьюки ; под ред. Ю.П. Адлера ; пер. с англ. – Москва : Финансы и статистика, 1982. – Вып. 1. – 317 с. // – Вып. 2. – 239 с.
19. Мирский Г. Я. Характеристики стохастической взаимосвязи и их измерения / Г. Я. Мирский. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 320 с.
20. Высочиненко М. С. Статистические характеристики оценок ключевых показателей эффективности / М. С. Высочиненко // 12-а міжнародна науково-практична конференція «Управління мережами та послугами телекомунікацій», 18-20 вересня 2013 року, смт. Партеніт. – С. 30-32.
21. Высочиненко М. С. Прогноз состояния сложной динамической системы по результатам корреляционно-регрессионного анализа / М. С. Высочиненко // 15-а міжнародна науково-практична конференція «Новітні мережні технології в Україні», 23-25 вересня 2013 р., смт Партеніт. – С. 80-82.

Дата надходження в редакцію: 02.08.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Ю. В. Кравченко