

Беркман Л. Н., Варфоломеева О. Г., Твердохліб М. Г., Перепелиця Н. Л.

*Державний університет телекомунікацій, Київ*

### ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ З УРАХУВАННЯМ КОРЕЛЯЦІЙНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

*Визначені основні критерії якості функціонування системи управління телекомунікаційною мережею. Побудова раціонального варіанту системи пов'язана з вибором великої і різномірної множини параметрів – типів і моделей обладнання, що ускладнює побудову аналітичної моделі системи управління. Запропоновано методику визначення необхідного обсягу інформації управління з урахуванням кореляційних зв'язків між станами мережних елементів.*

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа, система управління, мережа наступного покоління, критерії оптимальності, кореляційні зв'язки, аналітична модель.

Berkman L. N., Varfolomeieva O. H., Tverdokhlib M. H., Perepelytsia N. L.

*State University of Telecommunications, Kyiv*

### DETERMINATION OF THE QUANTITY OF INFORMATION FLOWS IN THE TELECOMMUNICATION NETWORKS MANAGEMENT SYSTEM WITH REGARD TO CORRELATION CONNECTIONS

*Issues related to the improvement of the quality of the telecommunications network management system and the main criteria of the functioning of the telecommunication network management system are considered in the article. Design of a rational version of the system involves the choice of a large and heterogeneous set of parameters – types and models of equipment, which complicates the formation of analytical model of management system. One of the important parameters is the bandwidth of the management system, which depends on the amount of control information. Change in the status of a network element which is a component of a network may cause corresponding changes in different locations and at different network levels. A refusal can spread and affect various network-level services. Switching to a non-operating state of one network element or even one or more parameters of a network element leads to the generation of a large number of emergency messages of different types and different formats transmitted from different locations. The management system should provide the automatic data collection depending on their correlation, based not only on the description of the state and behavior of the controlled components, but also on the explicit description of the state and behavior of the relationship between these components.*

*The method of determination the necessary amount of management information based on correlation connections between the states of network elements is proposed. The method of calculating the amount of information developed on the basis of information theory allows to minimize the amount of information management flows and to calculate the number of communication channels for a control system with a given bandwidth provided in accordance with the Recommendations ITU-T M.3100, M3.400.*

**Keywords:** telecommunication network, management system, next generation network, optimality criteria, correlation connections, analytical model.

Беркман Л. Н., Варфоломеева О. Г., Твердохліб Н. Г., Перепелиця Н. Л.

*Государственный университет телекоммуникаций, Киев*

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ С УЧЕТОМ КОРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЕЙ

*Определены основные критерии качества функционирования системы управления телекоммуникационной сетью. Построение рационального варианта системы связано с выбором большого и разнородного множества параметров – типов и моделей оборудования, что затрудняет построение аналитической модели системы управления.*

© Беркман Л. Н., Варфоломеева О. Г., Твердохліб М. Г., Перепелиця Н. Л., 2018

*Предложена методика определения необходимого объема информации управления с учетом корреляционных связей между состояниями сетевых элементов.*

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, система управления, сеть следующего поколения, критерии оптимальности, корреляционные связи, аналитическая модель.

## Вступ

В умовах конвергенції телекомунікаційних та інформаційних технологій, переходу до мереж наступного покоління NGN (Next Generation Network), різноманітності типів та розгалуженості мереж, зростаючого попиту споживачів на нові послуги та підвищення вимог до якості їх надання, конкуренції операторів на ринку телекомунікацій тощо виникають усе нові й нові завдання, пов'язані з управлінням телекомунікаційними мережами [1].

Систему телекомунікацій, як складну систему, характеризує:

- складність математичного опису, але необхідність його для управління системою;
- нестационарність, яка проявляється з часом у дрейфі її характеристик, еволюції та зміні параметрів;
- стохастичність поведінки та наявність в системі великої кількості дугорядних (по відношенню до мети управління) процесів;
- неоднозначність реакції системи на однакові ситуації або дії управління в різні моменти часу;
- нелінійність, що складається із технічної нелінійності (наприклад, нелінійна залежність між кількістю абонентських комплектів і загальною кількістю комутаційних станцій, довжиною ліній тощо), соціальної нелінійності (наприклад, нелінійна залежність між кількістю користувачів і платоспроможністю їх різних категорій) та технічно-соціальної (наприклад, нелінійна залежність між абонентським навантаженням і поточною пропускнуною спроможністю мережі телекомунікацій) нелінійностей [2];
- немарковість, тобто визначеність поведінки системи не тільки поточним станом, але і досить тривалою передісторією.

Від організації системи управління телекомунікаційними мережами залежить надійність і, відповідно, конкурентоспроможність оператора телекомунікацій. На початковому етапі розвитку, або в умовах жорстких фінансових обмежень, можна обійтися мінімальними можливостями у сфері управління. Проте для оператора телекомунікацій, який займає достатньо стабільне положення на ринку телекомунікацій, пропонує широкий спектр послуг, і, відповідно, має у власному розпорядженні велику кількість обладнання, потрібна система автоматизованого управління телекомунікаційними мережами, яка дозволяє проводити моніторинг і швидке реконфігурування мережі, своєчасно знаходити і усувати несправності і забезпечувати оперативне підключення споживачів до нових послуг. Крім того, з'являється необхідність виробити єдину концепцію автоматизації управління для подальшого розвитку телекомунікаційної мережі [3].

Побудова раціонального варіанту системи управління телекомунікаційними мережами пов'язана з вибором великої і різномірної множини параметрів – типів і моделей обладнання, яке використовується, модифікацій цього обладнання, об'єктів управління, типів операційних систем, стеків протоколів, їх параметрів тощо. Однією з головних проблем при організації системи управління мережею є те, що в мережі часто використовується обладнання різних виробників. Звичайно кожний з них пропонує достатньо могутню і багатофункціональну систему управління тільки своїм обладнанням. З другого боку, існують платформи мережного управління, побудовані на принципах взаємодії відкритих систем, такі як HP OpenView або SunNet Manager, які дозволяють управляти широким спектром різного обладнання, але є лише основою для мережного управління.

Розвиток сучасних телекомунікацій потребує від виробників розробляти власні системи управління, які можуть використовуватися в поєднанні із стандартними платформами мережного управління, побудованими на принципах взаємодії відкритих систем.

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 тощо. Ці параметри, що прямо або побічно впливають на критерії оптимальності, можуть змінюватися з метою підвищення показників ефективності роботи системи управління. При розробці оптимальної системи управління необхідно задавати порогові значення критеріїв оптимальності [1, 4].

Побудова раціонального варіанту системи пов'язана з вибором великої і різномірної множини параметрів – типів і моделей обладнання, модифікацій цього обладнання, об'єктів управління, типів операційних систем, стеків протоколів, їх параметрів тощо.

Побудову аналітичної моделі СУ ускладнено через відсутність або недолік апріорної інформації про об'єкт управління, а також через обмеженість і складність використовуваного математичного апарату. Для забезпечення заданої точності процесу управління мережею при проектуванні СУ повинно бути визначено мінімально необхідну кількість управляючої інформації.

Таким чином, одним з *визначальних критеріїв* побудови оптимальної системи управління є рішення задачі мінімізації обсягів інформації управління телекомунікаційною мережею. Виникає необхідність розробки методики підвищення показників якості СУ, особливо мінімізації кількості інформації управління, а тим самим і збільшення пропускної спроможності мережі системи управління [5].

### **Інформаційна модель системи управління телекомунікаційної мережі**

В термінах теорії інформації «управління мережею» – це процес зменшення невизначеності її стану, що чисельно характеризується зміною відповідної ентропії, оскільки ентропія визначає відхилення параметрів мережі для кожного фіксованого моменту часу.

Зміна стану мережного елемента, що є компонентом мережі, може викликати відповідні зміни в різних місцях і на різних рівнях мережі [6, 7]. Відмова може розповсюджуватися і впливати на різні послуги на рівні мережі. Перехід в неробочий стан одного мережного елемента або навіть одного або декількох параметрів мережного елемента веде до генерації великої кількості аварійних повідомлень різного типу і різних форматів, які передаються з різних місць. Система управління повинна забезпечити автоматичний збір даних з урахуванням їх кореляції, ґрунтуючись не тільки на описі стану і поведінки компонентів, по відношенню до яких здійснюється управління, але і на явному описі стану і поведінки відносин між цими компонентами. Мережі можуть включати досить складні взаємодії між великою кількістю взаємно-сполучених мережних елементів і облік відносин між компонентами мережі дозволяє точніше розрахувати необхідну кількість управляючої інформації в мережі.

Зміна стану деякого об'єкту або параметра мережі означає виникнення певної події (повідомлення) в мережі телекомунікацій, тому, взаємний вплив елементів мережі може розглядатися як кореляція подій і може бути представлено як процес перегляду великої кількості подій, який приводить до відкидання деяких з них, і аналіз відносин типу "причина-ефект" між подіями, що залишилися, з виділенням тривожних сигналів з набору взаємозв'язаних подій або ідентифікацію події, що є причиною виникнення зміни стану елемента мережі.

Таким чином, при побудові оптимального варіанту системи управління за критерієм кількості управляючої інформації необхідно провести оцінку кореляційних характеристик об'єктів і параметрів управління та визначити обсяги управляючої інформації в системі.

Поняття ентропії є базисним поняттям всієї теорії інформації. Ентропія – міра невизначеності деякої ситуації. Саме така зручна міра невизначеності була запропонована К. Шенноном:

$$H(X) = -P(X_i) \log P(X_i), \quad (1)$$

де  $X$  – дискретна випадкова величина з діапазоном змінювання  $N$ ,  
 $P(X_i)$  – імовірність  $i$  – го стану  $X$ .

У теорії інформації ентропія також характеризується невизначеністю ситуації до передавання повідомлення, оскільки заздалегідь невідомо, яке саме повідомлення з ансамблю повідомлень джерела буде передано. Чим більша ентропія, тим сильніша невизначеність і тим більшу інформацію несе одне повідомлення джерела.

Інформація про функціонування телекомунікаційної мережі і окремих її компонентів надходить до системи управління. В результаті обробки інформації, що надійшла в систему управління від об'єктів (елементів) управління, формується узагальнена інформаційна модель стану мережі телекомунікацій, на підставі якої визначаються рішення різного рівня і виконуються необхідні процедури управління.

Інформаційна адекватність цієї моделі залежить від точності оцінки інформаційних потоків управляючої інформації і передбачає облік динаміки зміни цих потоків і кореляційних залежностей між ними [8].

К. Шеннон визначив поняття інформації, як міру зменшення ентропії в моделі, що описує об'єкт, в результаті отримання деякого повідомлення, що змінює цю модель. При цьому передбачається, що в новій моделі ентропія буде обов'язково менше, ніж в початковій. Тоді, стосовно системи управління мережами ми можемо записати:

$$I = H_1 - H_2,$$

де  $I$  – кількість управляючої інформації в деякій гіпотетичній мережі;

$H_1$  – ентропія до включення системи управління;

$H_2$  – ентропія після включення системи управління.

Ентропія системи є мірою невизначеності системи. Приріст ентропії стану процесу обумовлений розкидом змінних цього процесу, тобто варіацією змінних. Кількість інформації, що одержана в результаті вимірювання змінних процесу, дорівнює спаду невизначеності. Кількісно ентропію можна представити у вигляді залежності [9]:

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} p(x_1, x_2, \dots, x_n) \cdot \log p(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n.$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – параметри мережі;

$p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_n)$  – щільності розподілу імовірності величин  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Якщо параметр  $x$  може приймати лише дискретні значення, імовірність яких дорівнює  $p_1,$

$p_2, \dots, p_m$ , то ентропія такого параметра виражається формулою  $H = - \sum_{j=1}^m p_j \log p_j$ .

Умовна ентропія дорівнює ентропії розподілу щільності імовірності змінних процесу, обумовленого варіацією змінних. Вона може бути знайдена на підставі статистики розподілу варіації змінних, безвідносно до закону розподілу імовірності самих змінних.

Ентропія розкиду змінних при заданому середньоквадратичному значенні (заданої потужності варіації змінних) і при нормальному законі розподілу імовірності варіації параметрів визначається як  $H = \log(\sigma\sqrt{2\pi e})$  [9].

Отже, під знаком логарифма з'являється розмірна величина. Проте, у виразі різниці ентропії завжди присутній логарифм відношення і фізична розмірність скорочується. Це наочно демонструє формула (2). Різниця ентропії двох станів, які мають нормальні розподіли і середні квадрати, дорівнює :

$$I = H_2 - H_1 = \log(\sigma_2\sqrt{2\pi e}) - \log(\sigma_1\sqrt{2\pi e}) = \log \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = - \log \frac{\sigma_1}{\sigma_2}. \quad (2)$$

### Методика розрахунку обсягу інформації управління

Для оцінки кількості інформації, яка передається в системі управління мережею, ми повинні оцінити відношення дисперсії відхилення параметрів повідомлень, які досліджуються в мережі в різних ситуаціях, а така оцінка може бути зроблена по вимогах до параметрів нормально функціонуючої мережі, якою управляють.

Все вищевикладене справедливе для незалежних величин, тобто для випадку, коли дані об'єкти і параметри управління є інформаційно незалежними.

Інформаційні потоки в системі управління досить часто мають залежний характер, оскільки зміна стану одного об'єкту управління, як правило, спричиняє за собою зміну стану ще одного або декількох об'єктів. Кількість інформації для залежних повідомлень завжди менше ніж для незалежних і визначається як:

$$I(x_1, x_2) = H(x_1) - H_{x_2}(x_1).$$

Для числа  $m$  параметрів управління:

$$I(x_1, x_2, \dots, x_m) = p(x_1, x_2) [\log p(x_1) + \log p(x_2) - \log p(x_1, x_2)] - \\ - p(x_1, x_3) [\log p(x_1) + \log p(x_3) - \log p(x_1, x_3)] - \\ \dots \dots \dots \\ - p(x_k, x_l) [\log p(x_k) + \log p(x_l) - \log p(x_k, x_l)]$$

або

$$I(x_1, x_2, \dots, x_m) = p(x_1, x_2) \log \frac{p(x_1, x_2)}{p(x_1)p(x_2)} + \dots + p(x_1, x_3) \log \frac{p(x_1, x_3)}{p(x_1)p(x_3)} + \dots + p(x_k, x_l) \log \frac{p(x_k, x_l)}{p(x_k)p(x_l)}.$$

Виходячи з припущення про нормальний закон розподілу щільності імовірності, кількість інформації управління з урахуванням кореляційних зв'язків між об'єктами і параметрами управління визначатиметься таким чином:

$$I(x_1, x_2, \dots, x_m) = \log \frac{\sigma'_1 (1 - k_1 n_{kor_1})}{\sigma_1} + \log \frac{\sigma'_2 (1 - k_2 n_{kor_2})}{\sigma_2} + \dots + \log \frac{\sigma'_m (1 - k_m n_{kor_m})}{\sigma_m}, \quad (3)$$

де  $\sigma'_i$  – середньоквадратичне відхилення параметрів мережі від необхідних значень до включення системи управління;

$\sigma_i$  – середньоквадратичне відхилення параметрів мережі, якою управляють, від необхідних значень після включення системи управління;

$k_i$  – коефіцієнт, який залежить від числа кореляційних зв'язків між контрольованими параметрами мережі телекомунікацій;  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $n_{kor}$  – число кореляційних зв'язків.

Використовуючи одержану формулу (3), можна розрахувати кількість управляючої інформації із заданою точністю параметр і з урахуванням їх взаємних кореляційних зв'язків для вибраної мережі телекомунікацій. Виведені інженерні формули дозволяють розрахувати найважливіший параметр СУ – кількість управляючої інформації, що забезпечує необхідну точність параметрів для двох основних режимів – коли інформаційні потоки залежні і незалежні між собою [10].

Для розрахунку обсягу інформації управління за вказаною методикою вихідними даними є відомості про об'єкти управління, параметри об'єктів управління, відхилення параметрів вказаних об'єктів від нормальних значень, кількість кореляційних зв'язків між об'єктами і параметрами управління.

У кожному конкретному випадку при виборі об'єктів управління та їх параметрів виходять з необхідної точності розрахунків і потреб системи управління.

В табл. 1 наведені результати розрахунків кількості управляючої інформації для конкретного прикладу, проведено порівняльний аналіз результатів для випадку без урахування і з урахуванням кореляційних зв'язків.

В якості об'єктів управління розглянуто цифрові МТС, служби передачі даних, служби передачі даних за протоколом IP; установчо-виробничі АТС; лінійні тракти; мережні тракти (первинні, вторинні, третинні) тощо. Параметри оцінки стану обраних об'єктів управління мережею одержано з аналізу нормативно-технічної документації експлуатації мереж.

Результати розрахунку кількості управляючої інформації

Табл. 1

№ Параметра управління	Кількість інформації		Виграш з пропускної спроможності
	без урахування кореляційних зв'язків	з урахуванням кореляційних зв'язків	
1	2	3	4
1	7275,52	7275,52	
2	8027,29	7224,56	3211
3	7041,56	5633,25	5633
4	8258,10	5780,67	9910
5	7767,20	4660,32	12428
6	7881,99	3940,99	15764
7	7519,31	7519,31	
8	7232,99	6509,69	2893
9	6539,39	5231,51	5232
10	7931,05	5551,73	9517
11	7625,93	4575,56	12201
12	6931,12	3465,56	13862
13	7389,62	7389,62	
...	...	...	...
80	7465,88	5226,12	8959
<b>УСЬОГО</b>	<b>562102,7</b>	<b>421379,2</b>	<b>562894</b>

Для наведеного прикладу кількість об'єктів управління кожного типу прийнято рівним 50. Отримані дані, які наведені у таблиці, представляють результати таких розрахунків:

- кількість інформації управління, що видається системою управління, без врахування кореляційних зв'язків між параметрами та об'єктами управління (графта 2);
- кількість інформації управління, що видається системою управління, з урахуванням кореляційних зв'язків між параметрами та об'єктами управління (графта 3);
- виграш з пропускної спроможності за рахунок урахування кореляційних зв'язків (графта 4) за умови, що час реакції системи дорівнює 250 мс.

### Висновки

Аналізуючи запропоновану методику, можна зробити висновки:

1) Розроблену на основі теорії інформації методику розрахунку інформаційних потоків в системі управління з урахуванням кореляційних зв'язків можна використовувати в системі управління для визначення кількості управляючої інформації із заданою точністю параметрів і з урахуванням їх взаємних кореляційних зв'язків для вибраної мережі телекомунікацій.

2) Розроблена методика розрахунку кількості інформації дозволяє мінімізувати обсяг інформаційних потоків управління і розрахувати кількість каналів зв'язку для системи управління з заданою пропускною спроможністю за умови гарантованого виконання усіх необхідних функцій управління згідно з Рекомендаціями ІТУ-Т М.3100, М.3400 тощо.

3) Розроблена методика розрахунку обсягу інформаційних потоків управління для системи управління є універсальною, тобто придатною для будь-якого типу телекомунікаційної мережі.

Розроблена методика є придатною для будь-якої сучасної системи управління різнорідними мережами, що обумовлює її практичне значення.

### Список використаної літератури (ДСТУ)

1. Толубко В. Б. Методи оптимізації / В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман. – Київ: ДУТ, 2016. – 442 с.
2. Стеклов В. К. Телекоммуникационные сети / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман. – Київ: Техніка, 2000. – 392 с.

3. Принципи управління телекомунікаційними мережами // ІТУ-Т Рекомендація М.3010. – 2010.
4. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер. – Москва: Мир, 1989. – 544 с.
5. Правило В. В. / Дослідження методів управління телекомунікаційними мережами в умовах перевантаження / В. В. Правило / І-а НТК Харківського університету повітряних сил, 17 лютого 2015. – С. 16.
6. Крук Б. И. Телекоммуникационные системы и сети: в 3-х томах. Том 1: Современные технологии / Б. И. Крук, В. Н. Попантолопуло, В. П. Шувалов. – Москва : Горячая линия-Телеком, 2012. – 620 с.
7. Величко В. В. Телекоммуникационные системы и сети: в 3-х томах. Том 3. - Мультисервисные сети / В. В. Величко, Е. А. Субботин, В. П. Шувалов, А. Ф. Ярославцев. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2015. – 592 с.
8. Чаадаев В. К. Информационные системы компаний связи / В. К. Чаадаев, И. В. Шеметова, И. В. Шибаева // – Москва : Эко-Трендз, 2004. – 256 с.
9. Вентцель Е. С. Прикладные задачи теории вероятностей / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – Москва : Радио и связь, 1983. – 415 с.
10. Колченко Г. Ф. Построение модели оптимального проектирования системы управления телекоммуникационными сетями / Г. Ф. Колченко, О. Г. Варфоломеева // Праці 2-ї міжнародної конференції «Проблеми управління мережами та послугами телекомунікацій в умовах конкурентного ринку»: Вісник УБЕНТЗ. – 2003. – №2. – С. 15-18.

#### References (MLA)

1. Tolubko V. B., and Berkman L. N. *The Methods of Optimization*. Kyiv: DUT, 2016. Print.
2. Steklov V. K., and Berkman L. N. *Telecommunication Networks*. Kyiv: Tekhnika, 2000. Print.
3. Principles for a Telecommunications Management Network. ITU-T Recommendation M.3010. –2010.
4. Bertsekas D., and Gallager R. *Data Transmission Networks*. Moscow: Mir, 1989. Print.
5. Pravylo V. V. "Research Management Telecommunications Networks in Overload." The 1-st Conference Kharkiv University of the Air Force. Feb.17.2015. Print.
6. Kruk B. I., Popantolopulo V. N., and Shuvalov V. P. *Telecommunication Systems and Networks. Vol. 1: Modern Technology*. – Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2012. Print.
7. Velichko V. V., Subbotin E. A., Shuvalov V. P., and Yaroslavcev A. F. *Telecommunication Systems and Networks. Vol. 3: Multiservice Networks*. – Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2015. Print.
8. Chaadayev V. K., Shemetova I. V., and Shibaeva I. V. *Information Systems Telecoms*. – Moscow: Eco-Trendz, 2004. Print.
9. Wentzel E. S., and Ovcharov L. A. *Applied Problems of Probability Theory*. Moscow: Radio i svyaz', 1983. Print.
10. Kolchenko G. F., and Varfolomeieva O. H. "Building a Model Designing Optimal Telecommunication Management System." *International Conference "Problems of Networks and Tele-Services in the Competitive Market" Visnyk UBENTZ. 2 (2003): 15-18*. Print.

#### Автори статті (Authors of the article)

**Беркман Любов Наумівна** – д.т.н., проф., проректор з науково-педагогічної роботи (Berkman Liubov Naumivna – Dr.Sci. in Technics, prof., vice-rector for scientific and pedagogical work). Phone: +380 50 179 4267. E-mail: Berkmanlubov@gmail.com.

**Варфоломєєва Оксана Григорівна** – к.т.н., доцент кафедри телекомунікаційних систем (Varfolomeieva Oksana Hryhorivna – PhD in Technics, associate professor of the Department of Telecommunication System). Phone: +380 99 548 0376. E-mail: ogvar13@gmail.com.

**Твердохліб Микола Григорович** – к.т.н., доцент кафедри телекомунікаційних систем (Tverdokhlib Mykola Hryhorovych – PhD in Technics, professor of the Department of Telecommunication System). Phone: +380 99 548 0376. E-mail: tverdohlebnikolai44@gmail.com.

**Перепелиця Наталя Леонідівна** – старший викладач кафедри телекомунікаційних систем та мереж (Perepelytsia Natalia Leonidivna – senior teacher of the Department of Telecommunication System). Phone: +380 99 548 0376. E-mail: natasha\_484@mail.ru.