

УДК 621.396.13

**Отрох С. І., Кравченко В. І., Голубенко О. І., Загряжська М. В., Скрипник В. В.**  
*Державний університет телекомунікацій, Київ*

### ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВІДНОВЛЮВАНИХ СИСТЕМ МЕРЕЖ МАЙБУТНЬОГО

*Проаналізовано способи підвищення надійності відновлюваних систем мереж майбутнього. Проведено аналіз їх переваг та недоліків з точки зору зручності для роботи з ними з боку користувача. В результаті аналізу було розроблено методіку визначення надійності дубльованої системи чотирьох можливих варіантів.*

**Ключові слова:** *future network, резервування системи, хмарні технології, надійність системи, відновлювання елемента.*

**Otrokh S. I., Kravchenko V. I., Holubenko O. I., Zahryazhska M. V., Skrypnik V. V.**  
*State University of Telecommunications, Kyiv*

### WAYS TO INCREASE THE RELIABILITY OF RENEWABLE SYSTEMS OF THE FUTURE NETWORKS

*The current development of the technologies of the 4th and 5th generations of mobile communication involves the constant use of cloud services, with which the device is synchronized in real time. In this regard, considerable attention must be paid to the development of network technologies and their operating modes. Since the number of user data for remote online work is rapidly increasing, service representatives need to maintain the continuous service of the devices connected to them. On this basis, the issue of the reliability of the network of the future comes to the fore. The article considers the main ways of ensuring the efficiency of computing technologies of the future networks, considers their advantages and disadvantages in terms of convenience for working with them from the user side. As a result of the analysis, a method for determining the reliability of the duplicate system of four possible options was developed.*

**Keywords:** *future network, system redundancy, cloud technology, system reliability, item restoration.*

**Отрох С. И., Кравченко В. И., Голубенко А. И., Загряжская М. В., Скрыпник В. В.**  
*Государственный университет телекоммуникаций, Киев*

### ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ СЕТЕЙ БУДУЩЕГО

*Проанализированы способы повышения надежности восстанавливаемых систем сетей будущего. Проведен анализ их преимуществ и недостатков с точки зрения удобства для работы с ними со стороны пользователя. В результате анализа была разработана методика определения надежности дублируемой системы четырех возможных вариантов.*

**Ключевые слова:** *future network, резервирование системы, облачные технологии, надежность системы, возобновление элемента.*

**Вступ.** Розвиток сучасних технологій, які застосовуються для створення передових мобільних гаджетів, передбачає постійне перебування пристрою в режимі онлайн. Сучасні смартфони, планшети або інші мобільні пристрої постійно підтримують зв'язок між хмарними сховищами та іншими сервісами, що надають свої послуги в режимі реального часу. Гаджет відстежує зміни, що вносяться користувачем і, забезпечивши надійний ступінь захисту, зберігає інформацію на віддаленому сервері.

© Отрох С. І., Кравченко В. І., Голубенко О. І., Загряжська М. В., Скрипник В. В., 2017

Якщо раніше користувач сам вибирав час і умови взаємодії з зовнішніми хмарними технологіями, то з розвитком сучасних мережевих технологій 4-го та 5-го покоління мобільного зв'язку, іменованих мережею майбутнього (Future Network – FN), або розумною мережею, девайси мають можливість синхронізуватися між сервісами з мінімальним втручанням людини. Однак, для повнофункціональної роботи сучасного пристрою необхідно забезпечити надійну роботу і віддаленого сервера/сховища, який представляє собою складну обчислювальну мережу, зав'язану на безперервну роботу компонентів електронних обчислювальних машин.

При виході з ладу одного з компонентів необхідно провести його заміну в найкоротші терміни або побудувати систему таким чином, щоб кожен мережевий елемент (NE – network element) був взаємозамінний або було можливо передбачити його резервування. Виходячи з цього сучасні мережеві технології мають різні способи побудови і взаємокомпенсації елементів, якщо передбачається гаряча заміна зазначеного елемента.

Проте, бувають випадки, коли працюючу (ввімкнену) резервовану систему неможливо ремонтувати. Коли у процесі роботи системи можливо відновлювати лише деякі елементи які мають великий процент відмови, у зв'язку з чим вдається домогтися підвищення показника надійності мережі майбутнього.

Так як для ремонту елемента необхідно його вимкнення, відновлення використовується при активному методі резервування.

Для нерезервованих систем скорочення часу відновлення веде до збільшення коефіцієнту готовності, що не впливає на безвідмовність системи. При наявності резервування відновлення стає ефективним засобом підвищення надійності. Завдяки скороченню часу відновлення мережевих елементів FN резервованої системи, які відмовили, існує можливість суттєво підвищити як коефіцієнт готовності, так і безвідмовність системи. Для відновлювальних систем поєднання резервування та відновлення має набагато більше значення, ніж для невідновлювальних систем поєднання резервування з профілактичним контролем працездатності усіх елементів (окремо кожного).

#### **Аналіз дубльованої системи з двома однаковими мережними елементами**

Розглянемо на прикладі дубльованої системи, в якій присутні два однакових NE FN — основний та резервний, особливості резервованих систем. В разі, коли перемикач між основним та резервним NE абсолютно надійний, зменшуючи час ремонту, стає можливим домогтися дуже високої надійності системи.

Припустимо, що під час ремонту в елементах не можуть виникнути вторинні відмови.

Дубльована система може знаходитися в одному із трьох станів, котрі позначимо цифрами:

0 – система працездатна (обидва елементи працездатні);

1 – система працездатна, але один із елементів відмовив (система схильна до відмови);

2 – система непрацездатна (відмовила).

Позначимо ймовірність перерахованих раніше станів через  $P_0(t)$ ,  $P_1(t)$ ,  $P_2(t)$ . Ці ймовірності залежать від початкових станів системи, в якій вона знаходилась при  $t = 0$

В залежності від призначення дубльованої системи до неї можуть висунуті різноманітні вимоги [1]:

1. Після ввімкнення система повинна безвідмовно працювати певний час; перерви в роботі недопустимі. При цьому необхідно знати ймовірність неперервної безвідмовної роботи системи (ймовірність перший раз не опинитися у стані 2). Іноді кажуть, що для таких систем непрацездатний стан є поглинаючим. При цьому розраховують умову ймовірності безвідмовної роботи на інтервалі  $(0, t)$  за умови, що при  $t=0$  основний та резервний елементи працездатні.

2. Необхідно вилучити певний заданий момент часу, коли система працездатна, але перерви у роботі системи не відіграють ніякої ролі. При цьому будуть розглядатися готовність системи та її характеристики: функція готовності  $\Gamma(t)$  або коефіцієнт готовності. Інакше кажучи, знаходиться ймовірність не опинитися у стані 2. Цей випадок відрізняється від попереднього тим, що існує можливість переходу зі стану 2 в стан 1.

Розрахуємо формули для функції готовності та ймовірності безвідмовної роботи дубльованої системи з відновленням. Припустимо, що основний та резервний елементи однонадійні, мають показники розподілення часу безвідмовної роботи та часу відновлення:  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ ,  $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ , відмова непрацездатних елементів неможлива, відмови виявляються миттєво. Спочатку розглянемо системи у яких відмови допустимі.

На рис.1 наведені графи станів чотирьох можливих варіантів дубльованої системи з відновленням:

- 1) Навантажений резерв; при відмові елементів вони можуть ремонтуватися як по одному, так і одночасно (відновлення без обмежень);
- 2) Навантажений резерв; елементи, які відмовили можуть ремонтуватися лише по одному (обмежене відновлення);
- 3) Ненавантажений резерв; відновлення проводиться без обмежень;
- 4) Ненавантажений резерв; відновлення по одному елементу (обмежене).

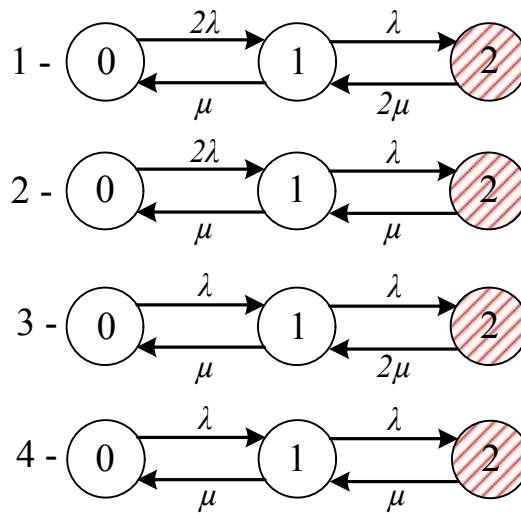


Рис.1. Графи станів різноманітних варіантів дубльованої системи

Диференційні рівняння для ймовірностей станів відповідно до графів станів (рис. 1) мають вигляд:

Для першого варіанту

$$\left. \begin{aligned} P'_0(t) &= -2\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P'_1(t) &= 2\lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t) + 2\mu P_2(t); \\ P'_2(t) &= \lambda P_1(t) - 2\mu P_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Для другого варіанту

$$\left. \begin{aligned} P'_0(t) &= -2\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P'_1(t) &= 2\lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t) + \mu P_2(t); \\ P'_2(t) &= \lambda P_1(t) - \mu P_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для третього варіанту

$$\left. \begin{aligned} P'_0(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P'_1(t) &= \lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t) + 2\mu P_2(t); \\ P'_2(t) &= \lambda P_1(t) - 2\mu P_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для четвертого варіанту

$$\left. \begin{aligned} P_0'(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P_1'(t) &= \lambda P_0(t) - (\lambda + \mu) P_1(t) + \mu P_2(t); \\ P_2'(t) &= \lambda P_1(t) - \mu P_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Дані рівняння повинні бути доповнені нормуючою умовою

$$\sum_{i=0}^2 P_i(t) = 1. \quad (5)$$

В результаті вирішення рівнянь (1)-(5) при початкових умовах  $P_0(0) = 1$ ;  $P_1(0) = P_2(0) = 0$  знайдемо залежності  $P_i(t)$  для  $i = 0, 1, 2$ .

$$\Gamma(t) = P_0(t) + P_1(t) = 1 - P_2(t) \quad (6)$$

Функції готовності розглянутих раніше чотирьох варіантів резервованих систем з відновленням мають вигляд:

Для першого варіанту:

$$\Gamma_1(t) = 1 - \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2} \left[ 1 + \frac{1}{\lambda + \mu} (x_2 e^{x_1 t} - x_1 e^{x_2 t}) \right], \quad (7)$$

де  $x_1 = -(\lambda + \mu)$ ;  $x_2 = -2(\lambda + \mu)$ .

Для другого варіанту:

$$\Gamma_2(t) = 1 - \frac{2\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 + \lambda^2} \left[ 1 + \frac{1}{\sqrt{\lambda^2 + 4\lambda\mu}} (y_2 e^{y_1 t} - y_1 e^{y_2 t}) \right], \quad (8)$$

де  $y_1 = -\frac{3\lambda + 2\mu - \sqrt{\lambda^2 + 4\lambda\mu}}{2}$ ;  $y_2 = -\frac{3\lambda + 2\mu + \sqrt{\lambda^2 + 4\lambda\mu}}{2}$ .

Для третього варіанту:

$$\Gamma_3(t) = 1 - \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 + \mu^2} \times \left[ 1 + \frac{1}{\sqrt{\mu^2 + 4\lambda\mu}} (z_2 e^{z_1 t} - z_1 e^{z_2 t}) \right], \quad (9)$$

де  $z_1 = -\frac{2\lambda + 3\mu - \sqrt{\mu^2 + 4\lambda\mu}}{2}$ ;  $z_2 = -\frac{2\lambda + 3\mu + \sqrt{\mu^2 + 4\lambda\mu}}{2}$ .

Для четвертого варіанту:

$$\Gamma_4(t) = 1 - \frac{\lambda^2}{(\lambda + \mu)^2 - \lambda\mu} \times \left[ 1 - \frac{1}{2\sqrt{\lambda\mu}} (\gamma_2 e^{\gamma_1 t} - \gamma_1 e^{\gamma_2 t}) \right], \quad (10)$$

де  $\gamma_1 = -(\lambda + \mu - \sqrt{\lambda\mu})$ ;  $\gamma_2 = -(\lambda + \mu + \sqrt{\lambda\mu})$ .

На рис. 2 наведені графіки залежностей  $\Gamma(t)$ , які обчислюються за розглянутими вище формулами (7)-(10) при  $\lambda = 0,01 \frac{1}{\text{год}}$  та  $\mu = 0,1 \frac{1}{\text{год}}$ . Графіки побудовані для чотирьох варіантів дубльованої системи, графі станів яких наведені на рис. 1.

Для порівняння на графіку присутня функція готовності  $\Gamma_5(t)$  нерезервованої системи

FN з тими самими значеннями:  $\lambda = 0,01 \frac{1}{\text{год}}$  та  $\mu = 0,1 \frac{1}{\text{год}}$ .

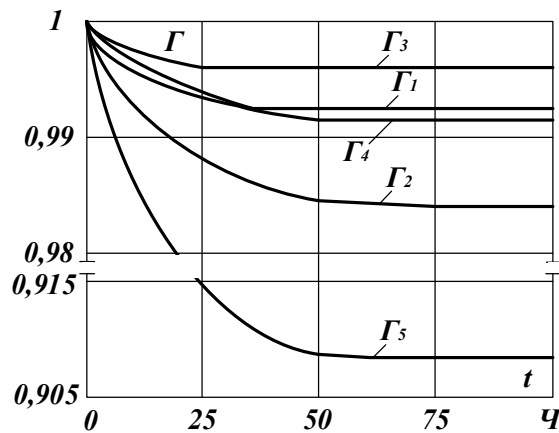


Рис. 2. Графіки функцій готовності.

Якщо ми прийемо вираз  $\lambda/\mu = \rho$ , тоді з формул (7)-(10) отримаємо:

$$k_{\Gamma 1} = \frac{1+2\rho}{(1+\rho)^2}; \quad (11)$$

$$k_{\Gamma 2} = \frac{1+2\rho}{(1+\rho)^2 + \rho^2}; \quad (12)$$

$$k_{\Gamma 3} = \frac{2(1+\rho)}{(1+\rho)^2 + 1}; \quad (13)$$

$$k_{\Gamma 4} = \frac{1+\rho}{(1+\rho)^2 - \rho}. \quad (14)$$

Коли  $\rho = 0,1$  в результаті отримуємо:

$$k_{\Gamma 1} = 0,992; k_{\Gamma 2} = 0,984; k_{\Gamma 3} = 0,995; k_{\Gamma 4} = 0,991.$$

Таким чином, для того щоб підвищити готовність відновлювальної дубльованої системи, необхідно створити умови, які забезпечують наявність ненавантаженого резерву та відновлення без обмежень. Це також відповідає інтуїтивним представленням на рахунок даного процесу [2].

Складемо системи диференціальних рівнянь, для визначення умовної ймовірності безвідмовної роботи, при тому, що стан 2 поглинаючий, тобто відсутні переходи зі стану 2 в стан 1. В такому випадку при відповідності з графами станів на рис. 1 в результаті отримаємо:

Для першого та другого варіантів

$$\left. \begin{aligned} P'_0(t) &= -2P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P'_1(t) &= 2\lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t); \\ P'_2(t) &= 2\lambda P_1(t). \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Для третього та четвертого варіантів

$$\left. \begin{aligned} P'_0(t) &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ P'_1(t) &= \lambda P_0(t) - (\lambda + \mu)P_1(t); \\ P'_2(t) &= \lambda P_1(t). \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Коли початкові умови  $P_0(0)=1, P_1(0)=P_2(0)=0$ , В результаті розв'язання системи рівнянь (15) та (16) відповідно з нормуючою умовою (5) отримаємо вираз для умовної ймовірності безвідмовної роботи:

$$\rho(t) = \frac{1}{\beta_2 - \beta_1} (\beta_2 e^{\beta_1 t} - \beta_1 e^{\beta_2 t}), \quad (17)$$

де для першого та другого варіантів

$$\beta_{1,2} = -\frac{1}{2} [\mu + 3\lambda \mp \sqrt{\lambda^2 + 6\lambda\mu + \mu^2}]; \quad (18)$$

для третього та четвертого варіантів

$$\beta_{1,2} = -\frac{1}{2} [\mu + 2\lambda \mp \sqrt{4\lambda\mu + \mu^2}]. \quad (19)$$

Залежності  $\rho(t)$ , обчислені за формулами (17)-(19) для  $\lambda = 0,01$  1/ч та  $\mu = 0,1$  1/ч, представлені на рис. 3. Також для порівняння наведені графіки функцій надійності невідновлювальних систем: нерезервованої, із навантаженим та ненавантаженим дублюванням.

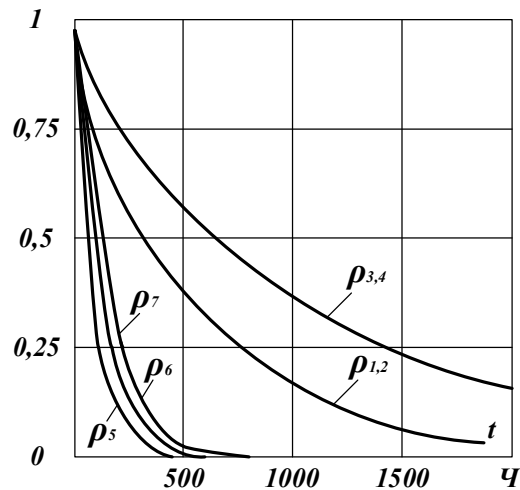


Рис. 3. Графіки функцій надійності різновидних систем

На рис. 3. графіки функцій надійності приведені для таких варіантів:

$\rho_{1,2}(t)$  – для першого та другого варіантів дубльованої системи (графи станів варіантів наведені на рис.1);

$\rho_{3,4}(t)$  – так само для третього та четвертого варіантів;

$\rho_5(t)$  – для нерезервованої системи;

$\rho_6(t)$  – для навантаженого дублювання без відновлення;

$\rho_7(t)$  – для ненавантаженого дублювання без відновлення.

Середній час безвідмовної роботи резервованої відновлювальної системи FN визначається так: якщо в початковий момент часу (коли  $t=0$ ) всі елементи резервованої системи працездатні, тоді середній час безвідмовної роботи являється часом переходу із початкового стану до підмножини непрацездатних станів.

Припустимо, що немає обмежень для числа ремонтних бригад, відмови виявляються миттєво, апаратура контролю безвідмовна, основний та резервний елементи однонадійні та мають показовий розподіл часу безвідмовної роботи і також часу відновлення. При цьому, використовуючи методи [3], можливо отримати наступні вирази для середнього часу безвідмовної роботи системи зі спільним резервуванням, яка складається з одного основного та  $k-1$  резервних елементів:

При навантаженому резерві:

$$m_{t_{c1}} = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=0}^{k-1} \frac{\left(1 + \frac{\mu}{\lambda}\right)^j}{1+j}; \quad (20)$$

у випадку  $\lambda/\mu \ll 1$ :

$$m_{t_{c1}} \approx \frac{\mu^{k-1}}{k\lambda^k}. \quad (21)$$

При навантаженому резерві:

$$m_{t_{c2}} = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=0}^{k-1} \frac{1}{1+j} \frac{k!}{(k-j-1)!} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^j, \quad (22)$$

у випадку  $\lambda/\mu \ll 1$

$$m_{t_{c2}} \approx (k-1)! \frac{\mu^{k-1}}{k\lambda^k}. \quad (23)$$

В реальних системах можуть існувати обмеження за числом ремонтних бригад, загально допустимому числу відновлень та інше [4]. Саме тому значення  $m_{t_c}$ , обчислені за формулами (20)-(23) доведеться розраховувати верхньою межею середнього часу безвідмовної роботи резервованої відновлювальної системи. Значення  $m_{t_c}$  майже для всіх основних випадків резервування наведені у табл. 1.

Середній час безвідмовної роботи

Табл. 1

Кількість надлишкових елементів	Вид резерву	Число ремонтних бригад	Формула для $m_{t_c}$
Один $k=2$	Навантажений	$r \geq 1$	$\frac{\mu + 3\lambda}{2\lambda^2}$
	Невантажений	$r \geq 1$	$\frac{\mu + 2\lambda}{\lambda^2}$
Два $k=3$	Навантажений	$r=1$	$\frac{2\mu^2 + 4\lambda\mu + 11\lambda^2}{6\lambda^2}$
		$r \geq 1$	$\frac{2\mu^2 + 7\lambda\mu + 3\lambda^2}{6\lambda^2}$
	Невантажений	$r=1$	$\frac{\mu^2 + 2\lambda\mu + 3\lambda^2}{\lambda^3}$
		$r \geq 1$	$\frac{2\mu^2 + 3\lambda\mu + 3\lambda^2}{\lambda^3}$

Вирази для  $m_{t_c}$  при  $r=1$  отримані шляхом складання та вирішення системи диференціальних рівнянь, відповідних графам станів при  $r=1$ .

Зіставивши формули для середнього часу безвідмовної роботи дубльованої відновлювальної системи з навантаженим резервом за умови ідеального контролю згідно виразу (20) зі значенням середнього часу безвідмовної роботи невідновлювальної системи із ненавантаженим резервом  $m_{t_c}'' = 3/2\lambda$  знайдемо:

$$\frac{m_{t_c}}{m_{t_c}''} = 1 + \frac{\mu}{3\lambda} = 1 + \frac{1}{3\rho} .$$

Таким чином, якщо  $\rho = \lambda/\mu = 0,01 \longrightarrow 0,001$  застосування відновлення підвищує середній час безвідмовної роботи резервованої системи у декілька разів [5].

**Висновки.** На сьогоднішній день сучасні технології повністю витісняють з ринку інформаційно-комунікаційних послуг такі служби як телебачення, новини (в друкованому вигляді), листування та інші способи обміну інформацією. На їх зміну ринок заповнюють послуги мережі Інтернет. Основною вимогою до подібних стандартів є надійність роботи елементів мереж, систем та їх комплексів в парі з мобільним пристроєм або комп'ютером. Вирішення задачі забезпечення надійного зберігання та необмеженого доступу до інформації покладається на створення безвідмовної в роботі мережі.

Виходячи з проведеного аналізу запропоновано методикку визначення надійності дубльованої системи чотирьох можливих варіантів:

1 – Навантажений резерв; при відмові елементів вони можуть ремонтуватися як по одному, так і одночасно (відновлення без обмежень);

2 – Навантажений резерв; елементи, які відмовили можуть ремонтуватися лише по одному (обмежене відновлення);

3 – Ненавантажений резерв; відновлення проводиться без обмежень;

4 – Ненавантажений резерв; відновлення по одному елементу (обмежене).

Розглянуті варіанти резервування систем та їх компонентів дозволяють побудувати комплекси технічних рішень які дозволять забезпечити високий рівень захисту інформації або нададуть можливість працювати з нею в режимі реального часу в залежності від потреб користувачів.

### Список використаної літератури

1. Гостев В. И. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами / В. И. Гостев, В. К. Стеклов. – Київ: Радіоаматор. – 1998. – 704 с.
2. Дружинин Г. В. Надёжность автоматизированных систем / Г. В. Дружинин. – Москва: Энергия, 1977. – 536 с.
3. Фомин Я. А. Теория выбросов случайных процессов. – Москва: Связь, 1980. – 216 с.
4. Емельянов Г.А. Передача дискретной информации / Г. А. Емельянов, В. О. Шварцман. – Москва: Радио и связь. – 1982. – 240 с.
5. Окунев Ю. Б. Принципы системного перехода к проектированию в технике связи / Ю. Б. Окунев, В. Г. Плотников. – Москва: Связь, 1976. – 184 с.
6. Стеклов В. К. Телекоммуникационные сети / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман. – Київ: Киевский институт связи Украинской Государственной академии связи им. А.С. Попова, 2000. – 395 с.
7. Вильямс Столлингс. Беспроводные линии связи и сети / Столлингс Вильямс. – Москва: Связь, 2003. – 639 с.
8. Арипов М. Проектирование и техническая эксплуатация сетей передачи данных дискретных сообщений / М. Арипов, Г. Захаров, С. Малиновский, Г. Яновский. – Москва: Радио и связь, 1988. – 360 с.



**References**

1. Gostev V.I., Steklov V.K. "Automatic control systems with digital controllers." *Kyiv: Radiomator* (1998):704.
2. Druzhinin G. V. "Reliability of Automated Systems." *Moskva: Energy* (1977): 536.
3. Fomin Ya. A. "Theory of emissions of random processes." *Moskva: Svyaz`* (1980): 216.
4. Emel`yanov G. A, Shvartsman V. O. "Transmission of discrete information." *Moskva: Radio i svyaz`* (1982): 240.
5. Okunev Yu. B., Plotnikov V. G. "Principles of a systematic transition to design in communications technology." *Moskva: Svyaz`* (1976): 184.
6. Steklov V. K. Berkman L. N. "Telecommunication networks." *Kiev: Institute of Communications of A. S. Popov Ukrainian State Academy of Telecommunications* (2000): 395.
7. Stallings Williams. "Wireless communication lines and networks." *Moskva: Svyaz`* (2003): 639.
8. Aripov M., Zakharov G., Malinovsky S., Yanovsky G. "Designing and technical operation of data transmission networks of discrete messages." *Moskva: Radio i svyaz`* (1988): 360.

**Автори статті**

**Отрох Сергій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (63) 591 94 09. E-mail: sotrokh@ukrtelecom.ua.

**Кравченко Владислав Ігорович** – аспірант кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (63) 801 81 16. E-mail: vladislav\_kravchenko@mail.ua.

**Голубенко Олександр Іванович** – старший викладач кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (63) 812 79 02. E-mail: Alan@bigmir.net.

**Загряжська Марія Вікторівна** – аспірант кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (93) 692 68 22. E-mail: 7mariamagdalene7@gmail.com.

**Скрипник Вікторія Володимирівна** – аспірант кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (99) 560 57 95. E-mail: skripnik2008@ukr.net.

**Authors of the article**

**Otrokh Serhii Ivanovych** – candidate of science (technic), head of the department of Mobile video and information technology, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (63) 591 94 09. E-mail: sotrokh@ukrtelecom.ua.

**Kravchenko Vladyslav Igorovich** – post-graduate student of the department of Mobile video and information technology, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (63) 801 81 16. E-mail: vladislav\_kravchenko@mail.ua.

**Holubenko Oleksandr Ivanovych** – senior lecturer of the department of mobile and video information technologies, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (63) 812 79 02. E-mail: Alan@bigmir.net.

**Zahriazhska Mariia Viktorivna** – postgraduate student of the department of Mobile video and information technology, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (93) 692 68 22. E-mail: 7mariamagdalene7@gmail.com.

**Skrypnik Viktoriia Volodymyrivna** – postgraduate student of the department of Mobile video and information technology, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel. +380 (99) 560 57 95. E-mail: skripnik2008@ukr.net.

Дата надходження

в редакцію: 25.10.2017 р.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор

**В.В. Вишнівський**

*Державний університет телекомунікацій, Київ*