

УДК 621.396. 642. 2

В.В. Воротніков, О.С. Бойченко, Є.О. Гриневич

Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова, Житомир

МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

У статті удосконалено методику підвищення живучості інформаційно-комунікаційної мережі, яка відрізняється методом енергоефективної кластеризації та методом багатошляхової маршрутизації, що дає змогу підвищити ймовірність відмови обслуговування користувачів. Підвищення живучості інформаційно-комунікаційної мережі за критерієм живучості – ймовірність відмови обслуговування користувачів, досягається за рахунок спільного використання механізмів реорганізації та реконфігурації. З метою реорганізації інформаційно-комунікаційної мережі розроблено метод енергоефективної кластеризації вузлів мережі, який дозволяє зменшити витрати енергії на передачу інформації. Для реалізації процесу реконфігурації удосконалено метод багатошляхової маршрутизації, застосування якого дозволяє підвищити час життя інформаційно-комунікаційної мережі.

Ключові слова: живучість, інформаційно-комунікаційна мережа, ймовірність відмови обслуговування користувачів, реконфігурація мережі, реорганізація мережі.

Вступ

Постановка проблеми. Система бездротового зв'язку є багаторівневою ієрархічною структурою, яка складається з множини вузлів, зв'язаних між собою визначеним способом. Даній конструкції притаманна властивість вразливості, яка визначається тим, що за рахунок великої кількості вузлів та зв'язків між ними дуже часто має місце «каскадний ефект», коли збій в одному будь-якому місці провокує перевантаження й втрату працездатності багатьох інших елементів [1–2].

Проектування нових мережевих систем та розвиток вже існуючих пов'язані з проблематикою прийняття рішень щодо використання наявних мережевих структур: управління потоками пакетів, розподілом ресурсів між вузлами.

Ці проблеми тісно пов'язані з задачею визначення зв'язності й живучості існуючих чи проектуємих мережевих систем [2].

Для удосконалення аналітичних моделей, які адекватно описують процес функціонування та забезпечення живучості інформаційно-комунікаційної мережі (ІКМ) при деструктивних діях за рахунок внутрішніх потенційних резервів (надмірностей) або відновлювальних заходів, обмежених часом, існує потреба в розробленні узагальненої методики підвищення живучості ІКМ. Виникнення цього важливого науково-практичного завдання обумовлено існуючим об'єктивним протиріччям між високими вимогами до живучості ІКМ та принциповою неможливістю мінімальних витрат ресурсів вузлів на її підвищення за рахунок застосування існуючих методів підвищення живучості ІКМ, що й визначає актуальність та своєчасність досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Живучість систем аналізують й оцінюють на різних рівнях проектування, моделювання та функціонування відповідної системи. В праці [2] авторами запропоновано досліджувати живучість за наступними видами: функціональна та структурна живучість. Так при дослідженні функціональної живучості та її оцінюванні можуть бути застосовані теоретико-ігрові, ймовірнісні, графові та матричні моделі. Структурну живучість системи оцінюють при деяких припущеннях, що дозволяють звести задачу оцінювання до задачі аналізу зв'язаності графів, оцінювання ймовірності формування працездатної структури при деструктивних діях.

В статті [3] ієрархічну модель живучості мережі представлено як композицію декількох моделей живучості підсистем нижчого рівня: апаратури радіодоступу, абонентських терміналів, опорної мережі та шлюзів для комутації з зовнішніми мережами. Вплив зовнішніх мереж на живучість ІКМ та живучість опорної мережі було виключено з розгляду, тому що події, які пов'язані з деструктивними діями носять локальний характер. З метою врахування специфіки живучості мобільної мережі, в статті досліджено живучість ІКМ абонентських терміналів та наведено шляхи щодо її підвищення.

Запропонована в статті [4] методика оцінки живучості розподілених інформаційних систем дозволяє проводити порівняльну оцінку альтернативних структур ІКМ. Використання математичного апарату теорії перколяції в цій методиці дозволяє обґрунтувати вибір структури ІКМ з числа конкуруючих альтернатив, а також здійснення можливості адаптування структури ІКМ до дестабілізуючих дій зовнішньої середовища.

В статті [5] авторами запропоновано метод підвищення структурної живучості вузлових елементів телекомунікаційної мережі шляхом підтримки параметру «посередництво», який надає можливість враховувати загальну кількість використовуваних шляхів, що проходять через певний вузол.

Запропонований в статті [6] метод підвищення живучості комп'ютерних мереж реалізує розв'язання задачі реконфігурації мережі як задачі лінійного програмування.

Сучасні підходи до підвищення живучості ІКМ [7–8], як правило, використовують механізми реорганізації чи реконфігурації ІКМ. Але підходи щодо спільного застосування методів реорганізації та реконфігурації ІКМ з метою підвищення живучості ІКМ у відомій літературі розкриті в не повному обсязі.

Метою статті є розробка методики підвищення живучості ІКМ за рахунок її реорганізації та реконфігурації.

Виклад основного матеріалу

Під живучістю ІКМ необхідно розуміти властивість, яка характеризує здатність ІКМ ефективно функціонувати в разі втрати працездатності визначеної кількості вузлів ІКМ або відновлювати цю здатність протягом встановленого часу [3].

Дано: інформаційно-комунікаційна мережа, яка може бути представлена за допомогою графу

$$G(V, E) = \begin{cases} V = \{v_i, i = 1 \dots N\}; \\ E = \{e_i, i = 1 \dots N\}, \end{cases}$$

де V – множина вузлів, які описують логічні зв'язки мережі; E – множина з'єднань між вузлами мережі.

Кожен вузол мережі характеризується вектором параметрів:

$$V = \langle E_{\text{ном}}, r_{\text{max}}, P_T, n_p, p_v, \Delta E_{v_i} \rangle,$$

де $E_{\text{ном}}$ – номінальна потужність акумуляторної батареї пристрою (мВт·год); r_{max} – максимально можливий радіус дії вузла (м); P_T – потужність передавача пристрою (мВт); n_p – кількість каналів для передачі даних; p_v – ймовірність безвідмовної роботи вузла; $\Delta E_{v_i} = f(r, \Delta I)$ – функція зміни енергетичної потужності радіомодуля відповідного вузла.

Між вузлами мережі встановлюється бездротове з'єднання $e = \{v_i, v_{i+1}\} \in E$, що описується наступними параметрами:

$$E = \langle M, D, p_e \rangle,$$

де M – пропускна здатність каналу зв'язку (Біт/с); D – довжина каналу зв'язку (м); p_e – ймовірність безвідмовної роботи каналу зв'язку.

Задано вектор інтенсивності надходження пакетів g (пакет/с) довжиною L (біт) до вузлів мережі.

Необхідно: підвищити живучість ІКМ

$$\text{Sur} = \arg \left(\max \left(G_{\text{opt}}(V, E), \Pi(G_{\text{opt}}) \right) \right)$$

за рахунок реорганізації ІКМ:

$$G_{\text{opt}} = f \left(\begin{array}{l} \max \text{Re}l(G(V, E)), \\ \min S(G(V, E)), \\ \min V_{\text{сл}}(G(V, E)) \end{array} \right)$$

та за рахунок реконфігурації ІКМ:

$$\Pi_{\text{opt}} = f \left(\begin{array}{l} \min R, \\ \max M, \\ \max E_{\text{зал}} \end{array} \right).$$

Обмеження:

1) величина загасання сигналу обернено пропорційна квадрату частоти сигналу або квадрату відстані між вузлами; для ізотропних передавальної і приймальної антен мобільних вузлів відношення потужності в точці прийому P_R до потужності у точці передачі P_T розраховується без урахування завад:

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{\lambda}{4\pi r^2},$$

де r – відстань між кореспондуючими вузлами (м).

2) характер дії деструктивних впливів полягає в такому: вершина та всі його зв'язки знищуються і вже не відновлюються протягом життєвого циклу мережі;

3) мережа зберігає властивість живучості за наступних умов:

– кількість вузлів, які втратили стан працездатності, не перевищує 25% від початкової кількості вузлів:

$$N_{\text{вид}} \leq 0,25 \cdot N;$$

– час життя реконфігурованої мережі не повинен бути меншим ніж 50% від часу життя мережі, коли всі вузли зберігають стан працездатності:

$$t_{\text{рек}} \geq 0,5 \cdot t_0,$$

де $t_{\text{рек}}$ – час життя реконфігурованої мережі (с), t_0 – час життя мережі, коли всі вузли зберігають стан працездатності (с).

Для вирішення поставленого завдання запропоновано наступні етапи методики:

1. Оцінювання живучості ІКМ за критерієм ймовірність відмови обслуговування користувачів ІКМ [3]:

$$\text{Sur} = 1 - \sum_{k=1}^n C_N^k p^k (1-p)^{N-k} \frac{\rho^{mk} / (mk)!}{\sum_{i=0}^{mk} \rho^i / i!}, \quad (1)$$

де m – кількість каналів; $\rho = \lambda/\mu$ – щільність потоку пакетів; p – ймовірність безвідмовної роботи вузлів.

2. Реорганізація ІКМ методом енергоефективної кластеризації [9–13].

Розв’язок даної задачі полягає в визначенні графу топології $G(V, E)$ за графом вимог $H(V, D)$, які зображено на рис. 1, з мінімальною вартістю створення з’єднання між вузлами:

$$G_{opt}(V, E) \in G(V, E);$$

$$G_{opt}(V, E) = \min \sum_{i=1}^m \Delta E_{v_i}(r, \Delta I). \quad (2)$$

В даній задачі в якості критерію оптимальності – вартість створення з’єднання між вузлами, обрано функцію енергетичної ефективності передачі даних [10–13]:

$$\Theta = \frac{\Delta E_{центр}}{\Delta E_{кластер}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

де: $\Delta E_{центр}$ – витрата потужності при передачі даних вузла при централізованому управлінні мережею від об’єму інформації ΔI ; $\Delta E_{кластер}$ – витрата енергії при передачі даних вузлом при ієрархічному управлінні мережею від об’єму інформації ΔI .

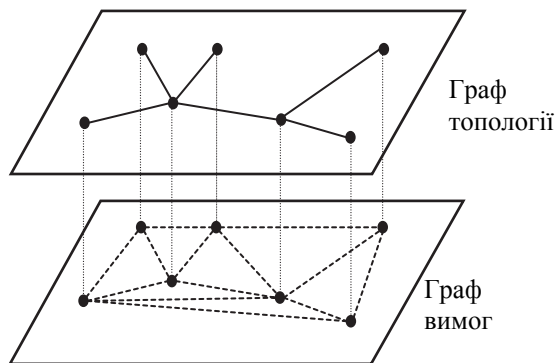


Рис. 1. Відображення графів вимог та топології

3. Оцінювання ефективності кластеризації ІКМ шляхом розв’язання багатокритеріальної задачі, щодо побудови адекватної цільової функції з метою визначення оптимальної кількості кластерів, на яку необхідно розділити ІКМ [9; 13].

Для оцінювання ефективності способу кластеризації ІКМ використовується цільова функція E^* , що є скалярною згортокою часткових критеріїв [13]:

$$E^* = f(\text{Rel}(G), S(G), V_{сл}(G)), \quad (4)$$

де $\text{Rel}(G)$ – надійність мережі; $S(G)$ – щільність потоку енергії ($\text{Вт}/\text{м}^2$); $V_{сл}(G)$ – обсяг службової інформації (Біт).

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що розбиття мережі на декілька кластерів буде ефе-

ктивним якщо виконуватимуться наступні умови: мінімум об’єму службової інформації, максимум надійності мережі, мінімум енергетичних затрат на обмін інформацією між вузлами мережі [13].

При знаходженні цільової функції E^* виникає проблема приведення до одного способу екстремізації. Тому для забезпечення знаходження оптимального компромісу між частковими критеріями використано нелінійну схему компромісів, яка поєднує в собі конфліктну природу критеріїв якості [9; 13; 15]:

$$E^* = \arg \min \left\{ \frac{1}{1 - V_{сл}^H(G)} + \frac{1}{1 - S^H(G)} + \frac{1}{\text{Rel}(G)} \right\}, \quad (5)$$

де $V_{сл}^H(G)$ – нормоване значення об’єму службової інформації; $S^H(G)$ – нормоване значення щільності потоку енергії.

Оцінювання ефективності кластеризації ІКМ з використанням нелінійної схеми компромісів об’єднує часткові критерії якості, які характеризують структуру мережі, енергетичні затрати та об’єм службової інформації.

4. Встановлення зв’язків між контролерами кластерів та об’єднання їх у опорну мережу, що породжує процес міжкластерної маршрутизації.

5. Розрахунок ймовірно-часових характеристик опорної мережі контролерів кластерів та критерію живучості ІКМ – ймовірність відмови в обслуговуванні користувачів ІКМ.

Використовуючи математичний апарат теорії систем масового обслуговування та теорії черг пропонується визначити наступні характеристики ІКМ [16]:

1. Вектор завантаженості каналів обслуговування у вузлах.
2. Вектор ймовірностей того, що канали у вузлах ІКМ вільні.
3. Середня кількість пакетів в черзі в i -му вузлі.
4. Середній час очікування в черзі в i -му вузлі.
5. Середнє число зайнятих каналів у i -му вузлі.
6. Середнє число пакетів у i -му вузлі.
7. Середній час обслуговування пакету мережею.

6. Реконфігурація ІКМ методом багатошляхової маршрутизації.

Задача формування маршруту в мережі, який би забезпечував вибір мінімальної відстані між вузлами, максимальної пропускної здатності каналу зв’язку, вузла з максимальним значенням залишкової ємності акумуляторної батареї, полягає в знаходженні шляху доставки даних від відправника s до адресата t з мінімальними сумарними витратами ресурсів вузлів цього шляху [17]:

$$\pi_{opt} = \arg \min_{\pi(s,t) \in \Pi(s,t)} C[\pi(s,t)], \quad \text{для } \forall s, t \in V, \quad (6)$$

де $\Pi(s, t)$ – множина маршрутів між s й t ; $\pi(s, t)$ – маршрут між $s, t \in V$; $C[\pi(s, t)]$ – вартість маршруту, яка розраховується за наступним виразом [17]:

$$C[\pi(s, t)] = \sum_{i=0}^{l-1} Y(v_i, v_{i+1}), \quad (7)$$

де l – кількість вершин, що належать до маршруту $\pi(s, t)$; $Y(v_i, v_{i+1})$ – вагова функція для дуг графу, яка називається метрикою вартості з'єднання і є мірою витрат ресурсів вузлів на передачу даних між вузлами v_i, v_{i+1} .

Розрахунок вартості з'єднання є багатокритеріальною задачею, для вирішення якої знаходиться цільова функція Y , що є скалярною згортою часткових критеріїв [9; 17]:

$$Y(v_i, v_{i+1}) = f(R, M, E_{\text{зал}}). \quad (8)$$

В ході досліджень встановлено, що вартість з'єднання буде оптимальною, якщо забезпечено виконання наступних умов: мінімальна відстань між сусідніми вузлами R (м), максимальна пропускна здатність каналу зв'язку M (Біт/с), максимальне значення залишкової ємності акумуляторної батареї $E_{\text{зал}}$ (Вт·год). Обрані часткові критерії мають різну розмірність та зміст навантаження. Процес оптимізації критеріїв описується системою:

$$\begin{cases} R \rightarrow \min; \\ M \rightarrow \max; \\ E_{\text{зал}} \rightarrow \max. \end{cases} \quad (9)$$

Для розв'язку (9) запропоновано нелінійну схему компромісів, що поєднує в собі конфліктну природу критеріїв якості [9; 14]:

$$Y(v_i, v_{i+1}) = \arg \min \left\{ \frac{1}{1-R^H} + \frac{1}{M^H} + \frac{1}{E_{\text{зал}}^H} \right\}, \quad (10)$$

де R^H – нормоване значення відстані між вузлами; M^H – нормоване значення пропускної здатності каналу зв'язку; $E_{\text{зал}}^H$ – нормоване значення залишкової ємності акумуляторної батареї.

З метою перевірки працездатності розробленої методики підвищення живучості ІКМ проведено моделювання процесу її реконфігурації та розраховані міри живучості. Початкові дані для моделювання:

1. ІКМ, що складається з 37 вузлів.
2. Надійність каналу зв'язку – 0,7.
3. Інтенсивність надходження пакетів – 1500 пакетів/с.
4. Кількість каналів для обслуговування в кожному вузлі – 4.
5. Інтенсивність обслуговування пакетів у вузлах – 50 пакетів/с.

6. Вектор інтенсивності надходження пакетів інформації до кожного вузла опорної мережі КК визначається як:

$$g_i = V_{\text{сл}} + V_k,$$

де V_k – об'єм корисної інформації (інтенсивність надходження пакетів).

Експлуатаційні характеристик вузлів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри вузлів ІКМ

№	Назва	$E_{\text{ном}}$ (Вт·год)	R (м)	M (МБіт/с)
1	Getac X500 Mobile-Server	94	100	450
2	Getac B300	94	180	1300
3	Getac Z710	28	100	450
4	Getac PS336	20	100	450
5	Panasonic TB mk5 CF-19	59	100	54
6	Panasonic TB CF-D1	23	100	54
7	Getac F110	31	180	1300
8	Getac MH132	4	100	54

Використовуючи метод оцінювання ефективності кластеризації мережі [13], проведено вибір оптимальної кількості кластерів.

Результати дослідження наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати дослідження

	$V_{\text{сл}}$	S	Rel	E^*	Sur
1	1332	0,7708	0,9112	0,8169	0,714
3	430	0,4338	0,9919	0,6392	0,8026
5	264	0,4047	0,9992	0,6264	0,8189
7	188	0,4597	0,9999	0,6486	0,8264
9	164	0,5306	0,9999	0,6799	0,8288

За отриманими результатами побудована графічна залежність значення цільової функції від кількості кластерів (рис. 2), з якої слідує, що оптимальна кількість кластерів дорівнює 5. Саме тому подальші дослідження були проведені для опорної мережі контролерів кластерів, яка складається з 5 вузлів.

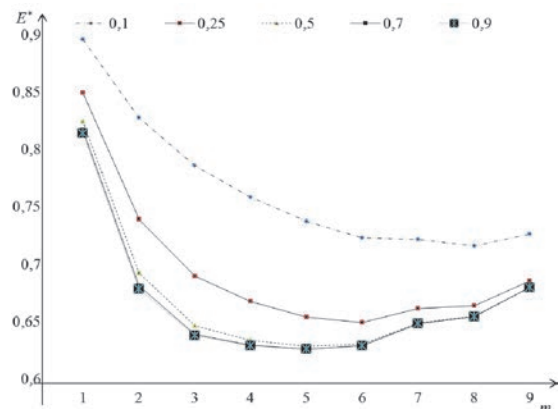


Рис. 2. Залежність цільової функції від кількості кластерів

На рис. 3 відображена залежність живучості ІКМ від кількості кластерів, з якої слідує, що зі збільшенням кількості кластерів нелінійно збільшується живучість ІКМ за критерієм ймовірність відмови обслуговування користувачів, що пов'язано зі зменшенням об'єму службової інформації та щільності потоку енергії, збільшенням надійності ІКМ.

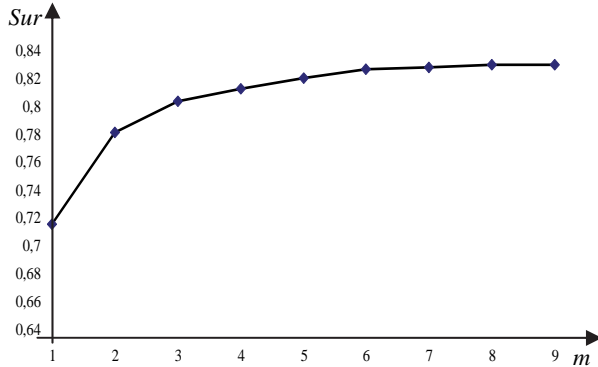


Рис. 3. Залежність живучості ІКМ від кількості кластерів

Розбиття ІКМ на 5 кластерів при ймовірності безвідмовної роботи 0,7 дозволяє збільшити живучість мережі за критерієм ймовірність відмови в обслуговуванні користувачів ІКМ на 12,8%.

На етапах 4 та 5 сформовано опорну мережу контролерів кластерів та розраховано її ймовірнісно-часові характеристики за методикою [16].

На наступному етапі знайдено можливі маршрути між контролерами кластерів в опорній мережі та розраховано їх вартість за допомогою цільової функції (10). Отримані маршрути в опорній мережі контролерів кластерів та їх характеристики наведені в табл. 3.

З табл. 3 слідує, що в порівнянні з маршрутом, метрикою якого є найкоротший шлях, отриманий маршрут має перевагу у наступних параметрах: час життя мережі збільшився на 6,75%, залишкова ємність акумуляторних батарей вузлів збільшилась на

30%; але з'явилися втрати за наступними параметрами: збільшилась довжина маршруту на 2,8% та збільшилась вартість з'єднання на 2,2%, що є допустимим в рамках заданих обмежень.

Таблиця 3
Маршрути в опорній мережі КК

1	$C[\pi(s, t)]$	$L_{\pi(s, t)}$ (м)	$E_{\text{зал}}$ (Вт·год)	$t_{\pi(s, t)}$ (год)	Sur
3	0,9	764	219	73	0,7002
4	0,92	786	313	78,25	0,8369
5	0,94	811	407	81,4	0,9190

Живучість опорної мережі контролерів кластерів за критерієм ймовірність відмови обслуговування користувачів ІКМ при цьому збільшилась на 16,3%.

Висновки

Проведена перевірка працездатності методики живучості ІКМ дозволяє зробити висновки про те, що при застосуванні методу енергоефективної кластеризації ІКМ та створенні опорної мережі контролерів кластерів підвищується час життя мережі, зменшуються енергетичні витрати на передачу даних.

Представлена методика є повною та завершеною з урахуванням припущень та наближень і розроблена безпосередньо для підвищення живучості проектуємих чи існуючих ІКМ. Підвищення живучості ІКМ за критерієм ймовірність відмови обслуговування користувачів на 12–17% досягається за рахунок реорганізації та реконфігурації ІКМ.

Методика може застосовуватися при дослідженні, оцінюванні та прогнозуванні живучості ІКМ за критерієм ймовірність відмови обслуговування користувачів як для проектуємих ІКМ, так і для існуючих.

Список літератури

1. Синтез и анализ живучести сетевых систем: монография / Ю.Ю. Громов, В.О. Драчев, К.А. Набатов, О.Г. Иванова. – М.: Издательство «Машиностроение-1», 2007. – 152 с.
2. Додонов А.Г. Живучесть информационных систем / А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ. – К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
3. Ромашкова О.Н. Живучесть беспроводных сетей связи в условиях чрезвычайной ситуации / О.Н. Ромашкова, Е.В. Дедова // Т-Comm: Телекоммуникации и Транспорт, 2014. – №6. – С. 40-43.
4. Голуб Б.В. Методика оценки живучести распределенных информационных систем / Б.В. Голуб, Е.М. Кузнецов, Р.В. Максимов // Вестник СамГУ – Естественнонаучная серия, 2014. – №7(118). – С. 221-232.
5. Грищенко І.В. Підвищення структурної живучості шляхом підтримки параметру «посередництво» / І.В. Грищенко, Л.М. Зіменко // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – Вип. 2 (139). – С. 14-20.
6. Коник Р.С. Методика підвищення живучості комп'ютерних мереж / Р.С. Коник // Сучасний захист інформації. – 2016. – № 3. – С. 3-10.
7. Птицын Г.А. Методы оценки и математические модели живучести сетей связи / Г.А. Птицын // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Том 10. – № 4. – С. 47-51.
8. Гришук Р.В. Графічний спосіб оцінювання живучості систем радіомоніторингу / Р.В. Гришук, Р.В. Дзюбчук, А.О. Сердюк // Сучасна спеціальна техніка. – 2015. – № 2 (41). – С. 9-15.
9. Гришук Р.В. Основи кібернетичної безпеки: Монографія / Р.В. Гришук, Ю.Г. Даник; за заг. ред. проф. Ю.Г. Даника. – Житомир: ЖНАЕУ, 2016. – 636 с.

10. Воротніков В.В. Децентралізований алгоритм підключення абонентів до кластеру мобільної мережі АСУВ / Ю.Г. Даник, Ю.О. Кулаков, В.В. Воротніков, К.М. Білоус // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9 (116). – С. 150-155.
11. Воротніков В.В. Энергоэффективная иерархическая маршрутизация в самоорганизующихся динамических сетях / В.В. Воротніков, Ю.А. Кулаков // Управляющие системы и машины. – 2014. – №1. – С 70-76.
12. Бойченко О.С. Спосіб формування кластерів вузлів мобільної мережі для ієрархічної маршрутизації. Патент України на винахід №107528 (UA), Н04Н 20/00 (2008.01) / О.С. Бойченко, В.В. Воротніков, Ю.О. Кулаков // №а 2013 09911; заявл. 09.08.2013; опубл. 12.01.2015, бюл. «Промислова власність», №1. – К.: ДП УППВ. – 2015.
13. Boychenko O. Multicriterion estimation of efficiency of mobile network clustering / O. Boychenko, V. Vorotnikov, Yu. Kulakov // The Advanced Science Journal. – 2015(1). – P. 61-67. – DOI: 10.15550/ASJ.2015.01.061.
14. Воронин А.Н. Метод многокритериальной оценки и оптимизации иерархических систем/ А.Н. Воронин // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – №3. – С. 84-92.
15. Гришук Р.В. Метод побудови класифікатора кібератак на державні інформаційні ресурси / Р.В. Гришук, В.Л. Бурячок, В.М. Мамарев // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 1/2 (21). – С. 38-43.
16. Бойченко О.С. Методика знаходження основних характеристик перспективних автоматизованих систем управління підрозділів на базі бездротових інформаційно-комунікаційних мереж із динамічно-змінюваною топологією / О.С. Бойченко, В.В. Воротніков, М.І. Сичевський // Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.1. – С. 366-372.
17. Бойченко О.С. Метод формування енергоефективного маршруту в бездротових інформаційно-комунікаційних мережах // О.С. Бойченко, Ю.Г. Даник, В.В. Воротніков // Системи обробки інформації: зб. наук. праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – Вип. 2(139). – С. 92-97.

References

1. Hromov, Yu.Yu., Drachev, V.O., Nabatov, K.A. and Ivanova, O.H. (2007), "Syntez i analiz zhyvuchesty cetevikh system: monografiya" [Synthesis and analyses of the survivability of network systems], Mashinostroenie, Moscow, 152 p.
2. Dodonov, A.H. and Lande, D.V. (2011), "Zhyvuchest informacionih system" [Survivability of information system], Nauk. Dumka, Kyiv, 256 p.
3. Romashkova, O.N. and Dedova, E.V. (2014), "Zhyvuchest besprovodnyh cetev v uslovijah chrezvychnoy situatsii" [The survivability of wireless communication networks in an emergency], T-Comm, No. 6, pp. 40-43.
4. Holub, B.V., Kuznecov, E.M. and Maksimov, R.V. (2014), "Metodyka otsenki zhivuchesti raspredelennykh informativnykh sistem" [Methodology of estimation of survivability of the distributed informative systems], Bulletin of the SamGU - Natural Science Series, No. 7(118), pp. 221-233.
5. Hryshenko, I.V. and Zimenko, L.M. (2016), "Pidvyshchennya strukturnoyi zhyvuchosti shlyakhom pidtrymky parametru «poserednytstvo»" [Increase of structural survivability by support to the parameter "mediation"], Information processing systems, No. 2(139), pp. 14-20.
6. Konik, R.S. (2016), "Metodyka pidvyshchennya zhyvuchosti komp'yuternykh merezh" [Methodology of increase of survivability of computer networks], Modern information security, No. 3, pp. 3-10.
7. Ptacin, G.A. (2016), "Metody otsenki i matematicheskiye modeli zhivuchesti setey svyazi" [Methods of estimation and mathematical models of survivability of communication networks], T-Comm, Vol. 10, No. 6, pp. 47-51.
8. Hryshchuk, R.V., Dzubchuk, R.V. and Serdyuk, A.O. (2015), "Hrafichnyy sposib otsynyuvannya zhyvuchosti system radiomonitornhu" [Graphical way to evaluate the survivability of systems radiomonitoring], Modern Special Technics, No. 2(41), pp. 9-15.
9. Hryshchuk, R.V. and Danyk, Yu.H. (2016), "Osnovy kibernetichnoyi bezpeky : Monografiya" [The basics of cyber security : Monograph], ZNAEU, Zhytomyr, 636 p.
10. Vorotnikov, V.V., Danyk, Yu.H., Kulakov, Yu.O. and Bilous, K.M. (2013), "Detsentralizovanyy alhorytm pidklyuchennya abonentiv do klasteru mobil'noyi merezhi ASUV" [Decentralized algorithm for connecting of subscribers to cluster the mobile network of CAS a management troops], Information Processing Systems, No. 9(116), pp. 150-155.
11. Vorotnikov, V.V. and Kulakov, Yu.O. (2014), "Energoeffektivnaya iyerarkhicheskaya marshrutizatsiya v samoorganizuyushchikhsya dinamicheskikh setyakh" [The Energy Effective Hierarchical Routing in Self-Organizing Dynamic Networks], Control systems and machines, No. 1, pp. 70-76.
12. Boychenko, O.S., Vorotnikov, V.V. and Kulakov, Yu.O. (2015), "Sposib formuvannya klasteriv vuzliv mobil'noyi merezhi dlya iyerarkhichnoyi marshrutyzatsiyi" [Method of forming clusters of nodes mobile network for hierarchical routing], Ukraine, №107528 (UA), Н04Н 20/00 (2008.01).
13. Kulakov, Y., Vorotnikov, V. and Boychenko, O. (2015), Multicriterion Estimation of Efficiency of Mobile Network Clustering. The Advanced Science Journal, No. 1, pp.61-67, DOI: 10.15550/ASJ.2015.01.061.
14. Voronin, A.N. (2007), "Metod mnogokriterial'noy otsenki i optimizatsii iyerarkhicheskikh sistem" [A method of multicriteria evaluation and optimization of hierarchical systems], Cybernetics and systems analysis, No. 3, pp. 84-92.
15. Hryshchuk, R.V., Burachok, V.L. and Mamarev, V.M. (2015), "Metod pobudovy klasyfikatora kiberratak na derzhavni informatsiyeni resursy" [A method of constructing a classifier of cyber attacks on state information resources], Technology audit and production reserves, No. 1/2(21), pp. 38-43, DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37423.
16. Boychenko, O.S., Vorotnikov, V.V. and Sychevskyj, M.I. (2012), "Metodyka znakhodzhennya osnovnykh kharakterystyk perspektyvnykh avtomatyzovanykh system upravlinnya pidrozdiliv na bazi bezdrotovykh informatsiyno-komunikatsiynykh merezh iz dynamichno-zminyuvanoyu topolohiyeyu" [Methodology of being of basic descriptions of perspective ASU subdividing into base of wireless informatively – communication networks with dynamically changeable topology], Scientific bulletin of UNFU, No. 2(41), pp. 366-372.
17. Boychenko, O.S., Vorotnikov, V.V. and Danyk, Yu.G. (2016), "Metod formuvannya enerhoefektyvnoho marshrutu v bezdrotovykh informatsiyno komunikatsiynykh merezhakh" [Method of formation of energy efficient route in wireless information and communication networks], Information Processing Systems, No. 2(139), pp 92-97.

Відомості про авторів:

Воротніков Володимир Володимирович

доктор технічних наук доцент
доцент кафедри Житомирського військового інституту
ім. С.П. Корольова,
Житомир, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-8584-3901>
e-mail: vvvorotnik@ukr.net

Бойченко Олег Сергійович

науковий співробітник наукового центру Житомирського
військового інституту ім. С.П. Корольова,
Житомир, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-3048-4184>
e-mail: bos_2006@ukr.net

Гриневич Євген Олександрович

старший науковий співробітник наукового центру
Житомирського військового інституту
ім. С.П. Корольова,
Житомир, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5902-9295>
e-mail: grineviche@ukr.net

Information about the authors:

Vorotnikov Vladimir

Doctor of Technical Science Associate Professor
Senior Lecturer of Korolev Zhytomyr
Military Institute,
Zhytomyr, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8584-3901>
e-mail: vvvorotnik@ukr.net

Boychenko Oleg

Research Associate of the Scientific Center Korolev
Zhytomyr Military Institute,
Zhytomyr, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3048-4184>
e-mail: bos_2006@ukr.net

Grinevich Eugene

Senior Research Associate of the Scientific Center
Korolev Zhytomyr Military Institute,
Zhytomyr, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5902-9295>
e-mail: grineviche@ukr.net

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

В. В. Воротников, О. С. Бойченко, Е. А. Гриневич

В статье обоснована актуальность исследования подходов к повышению живучести информационно-коммуникационной сети с помощью методов реконфигурации и реорганизации сети. В ходе анализа современных методов и способов повышения живучести установлено, что нерешёнными остаются вопросы сохранения свойства живучести с учётом действия деструктивных факторов за счёт внутренних резервов (избыточностей) или восстановительных мероприятий, ограниченных во времени. Усовершенствовано методика повышения живучести информационно-коммуникационной сети, которая отличается совместным использованием метода энергоэффективной кластеризации и метода многопутевой маршрутизации, что даёт возможность увеличить живучесть по критерию живучести – вероятность отказа в обслуживании пользователей. Показаны результаты проверки работоспособности разработанной методики, которые свидетельствуют о том, что при кластеризации информационно-коммуникационной сети и создании опорной сети контроллеров кластеров повышается время жизни сети, уменьшаются энергетические расходы на передачу информации. Методика повышения живучести информационно-коммуникационной сети может быть использована на этапе проектирования новых сетей или при усовершенствовании существующих. Разработанная методика позволяет проводить оценивание живучести информационно-коммуникационной сети с учётом действия деструктивных факторов, а также оценивать эффективность восстановительных мероприятий по критерию живучести – вероятность отказа в обслуживании пользователей.

Ключевые слова: *вероятность отказа в обслуживании пользователей, живучесть, информационно-коммуникационные сети, реконфигурация сети, реорганизация сети.*

METHOD FOR INCREASING THE SURVIVABILITY OF INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORK

V. Vorotnikov, O. Boychenko, E. Grinevich

Relevance of researching the approaches for increasing survivability of the information and communication network using the methods of its reconfiguration and reorganization was substantiated in the article. In analyzing modern methods of survivability increasing, it was established that the problems of preserving the property of network survivability, taking into account an influence of destructive factors due to internal reserves (superfluities) or restorative measures that are limited in time are still unsolved. Method for increasing the survivability of information and communication network was improved, which differs from the known ones by joint using the methods of energy efficient clustering and multi-way routing, that allow to increase survivability under the criterion of "survivability – user service-denial probability". The results of testing the developed method efficiency are presented. They are show, that when clustering the information and communication network and creating a backbone network of cluster controllers, the network life time is increased, and energy expenditure for information transfer is reduced. The method for increasing the survivability of the information and communication network can be used at the stage of the designing new networks or improving existing ones. The developed method allows to assess the survivability of the information and communication network, taking into account the influence of destructive factors, and also to evaluate the effectiveness of restorative measures by the criterion of "survivability – user service-denial probability".

Keywords: *information and communication network, network reconfiguration, network reorganization, survivability, user service-denial probability.*