

УДК 004.94

В.В. Косенко¹, Р.В. Артюх², О.О. Белоцький³, О.Ю. Персіянова²¹ ДП "Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування", Харків² ДП "Південний державний ПКНДІ авіаційної промисловості", Харків³ Харківська обласна державна адміністрація, Харків

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПІВ МЕТОДОЛОГІЇ РИЗИК-АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

В статті розглядається проблема інформаційного забезпечення для функціонування систем критичної інфраструктури (СКІ), адаптивного до зовнішніх умов та стійкого до ризиків. Розглянуто особливості СКІ як системи управління в реальному часі. Відповідно до цих особливостей сформульовано принципи методології ризик-адаптивного управління параметрами інфокомунікаційної мережі (ІКМ) СКІ. Запропоновано моделі формалізації таких принципів: ієрархічності, узгодження цілей та координації управління, потокового управління, оптимізації та ризик-орієнтованого управління.

Ключові слова: інфокомунікаційна мережа, ризики, адаптивне управління, інформаційна структура, параметри, методологія.

Вступ

Результатом науково-технічного прогресу останніх десятиліть, що визначив основний напрям світового розвитку, є широке застосування інформаційно-комунікаційних систем (ІКС) і технологій для підвищення ефективності функціонування основних державних структур і їх об'єктів «критичної інфраструктури» [1]. Запровадження системного підходу до розв'язання проблем захищеності критичної інфраструктури потребує створення дієвого механізму координації зусиль, спрямованих на недопущення втрати чи завдання невинної шкоди вузловим елементам критичної інфраструктури внаслідок дії негативних чинників будь-якого походження: техногенного, природного, соціально-політичного або їх комбінації.

На сьогодні інформаційні й телекомунікаційні мережі стають одним з основних і найбільш вразливих складників критичної інфраструктури. Інфокомунікаційна мережа, яка реалізує інформаційне забезпечення критично важливим об'єктом, вважається ключовою системою інформаційної інфраструктури. Впровадження концепції захисту критичної інфраструктури не має обмежуватися заходами щодо захисту тільки від кіберзагроз. Це вимагає розробки нового підходу до синтезу ІКС і оцінки їх ефективності на СКІ в умовах впливу загроз інформаційної безпеки. Суть цього підходу повинна складатися в розробці методології управління параметрами ІКС, адаптованої до умов зовнішнього середовища і стійкої до можливих ризиків.

Постановка проблеми

Забезпечення виконання комплексних вимог до якості вирішення прикладних завдань є основною

метою управління СКІ. Ця мета містить ряд часткових цілей, кожна з яких може бути пов'язана з певним прикладним завданням. Проте, в процесі досягнення мети виникає ряд проблем, обумовлених специфікою роботи ІКМ і прикладного програмного забезпечення СКІ [2, 3]:

- визначення комплексного критерію якості роботи мережі, що відображає якість вирішення прикладних завдань;
- формування часткових цілей управління, що забезпечують отримання прийнятних результатів роботи мережі;
- узгодження цілей управління з можливостями мережевої апаратури і програмного забезпечення;
- урахування динаміки процесів розвитку мережі, пов'язаних з появою нових прикладних завдань, нового мережевого устаткування, підключенням нових користувачів;
- ефективне використання апаратно-програмного комплексу мережі, щоб уникнути невиправданих витрат на експлуатацію мережі.

Управління мережею має забезпечувати комплексне вирішення вказаних проблем. Відзначимо, що управління роботою ІКМ, як правило, має на увазі управління мережевим трафіком і, отже, управління структурованим устаткуванням мережі [3]. Аналіз літературних джерел показав, що на сьогодні існує велике різноманіття відповідних інформаційних технологій управління [4, 5], але не розроблено узагальнену методологію їхнього синтезу, яка враховує особливості як прикладних завдань, що циркулюють у мережевому середовищі, так і відповідних системних застосунків.

Вказані вище аспекти та завдання, існуючий математичний апарат аналізу та синтезу ІКМ в СКІ,

потребують розробки відповідного методологічного апарату, застосування якого дозволить отримувати структурні та технічні параметри ІТМ для забезпечення функціонування СКІ, адаптивного до зовнішніх умов та стійкого до ризиків. Тому метою даної статті є формулювання принципів методології ризик-адаптивного управління параметрами ІКМ СКІ та визначення і формалізація способів їх реалізації.

Принципи методології ризик-адаптованого управління ІКМ

Основою формулювання загальних принципів методології є особливості об'єкту (СКІ) і методів його аналізу та управління.

Структура системи управління в області критичних інфраструктур, що розглядається з точки зору комп'ютеризації аспектів діяльності, являє собою складну ієрархічну структуру. Особливостями СКІ є вимоги безперервного функціонування з постійним відображенням стану внутрішнього і зовнішнього середовища в кожен момент часу. При цьому слід досягати виконання наступних цілей:

- надання функціональним завданням адекватних даних для прийняття рішень;
- прискорення виконання окремих операцій збору і обробки даних;
- зменшення кількості рішень, які потрібно приймати, шляхом їх об'єднання;
- підвищення рівня контролю та виконавчої дисципліни;
- підвищення оперативності управління;
- зниження витрат часу на виконання додаткових процесів управління;
- підвищення рівня обґрунтованості прийнятих рішень.

Структура ІКМ є основним чинником, що впливає на якість обміну даними між прикладним програмним забезпеченням, і, відповідно, на якість вирішення прикладних завдань. Основною метою аналізу структури є визначення параметрів потоків даних, що проходять по каналах зв'язку мережі та поступають на її вузли.

Результатами аналізу параметрів ІКМ є кількісні значення таких характеристик: навантаження на канали зв'язку і структуроутворююче устаткування, інтенсивності потоків даних і запитів, що поступають на вузли мережі.

Після проведення перерахованих робіт можна переходити до вирішення завдань управління розподілом трафіку. На етапі вирішення завдання настройки мережі виконуються наступні кроки:

- визначення конкретних показників якості настройки мережі,
- формування і розрахунок параметрів потоків даних інформаційної структури мережі,
- визначення складу устаткування мережі,

- формування технічної структури мережі.

Для отриманої структури з урахуванням обчислених параметрів треба оцінити рівень ризику функціонування ІКМ, який є необхідним для оцінки параметрів безпеки самої СКІ.

Етап корекції завдань настройки і оперативного управління є частиною адаптивного управління, він виникає у разі зміни базових параметрів мережі і може заважати перенастроюванню мережі і виробленню нових підходів до вирішення завдань оперативного управління.

Вказані вище кроки аналізу, синтезу та управління ІКМ є основою структури методології ризик-адаптованого управління ІКМ СКІ.

Загальна структура методології включає такі елементи: принципи, моделі, методи, прикладні засоби.

Методологія базується на таких принципах: декомпозиції та ієрархічності, узгодження цілей та координації управління, потокового аналізу і моделювання процесів, оптимального та адаптивного управління, ризик-орієнтованого управління.

Принципи декомпозиції та ієрархічності зумовлені розподіленою структурою СКІ і задачами розподілу трафіку, що передбачає розділення мережі на ряд підмереж.

Принцип узгодження цілей та координації управління реалізується, коли розподіл трафіку для кожної підмережі виробляється з урахуванням стану інших підмереж. Крім того, необхідне узгодження цілей управління підмережами, при якому локальні цілі управління розподілом трафіку в окремих підмережах повинні забезпечувати досягнення глобальної цілі управління мережею.

Принципи потокового аналізу і моделювання здійснюються при вирішенні завдань вимірювання, моделювання, опису параметрів трафіку для отримання необхідних робочих характеристик мережі.

Принципи оптимального та адаптивного управління забезпечують ефективність використання ресурсів мережі.

Для підвищення захищеності інформаційних ресурсів використовується підхід до створення адаптивних систем захисту, який орієнтований на активне протистояння загрозам безпеці.

Реалізація такого підходу потребує проведення аналізу ризиків, розробки політики безпеки, використання традиційних засобів захисту, а також впровадження контрзасобів для протистояння загрозам, постійного аудиту безпеки та моніторингу стану системи, що має дозволити оперативно реагувати на ризики ІКМ. Тому застосовується принцип ризик-орієнтованого управління, який відображає завдання аналізу та оцінки ризиків для прийняття рішень з їх парировання, завдяки чому підвищується безпека системи.

Моделі реалізації основних принципів методології

1. *Принцип ієрархічності в мережевих протоколах ІКС.* Питання узгодженої взаємодії мережевих серверів, периферійних і комутаційних вузлів мережі, виділених терміналів і мережевих процесорів вирішуються за допомогою системи мережевих протоколів. В узагальненій тривірневій моделі архітектури ІКС внутрішні операції вузла розділені між прикладними процесами (ПП) і системними застосунками (СЗ). Для розподіленої СКІ прийнятною є організація семирівневої архітектури відповідно до моделі взаємодії відкритих систем (стандарт OSI [6]). Підсистеми одного рангу утворюють N - рівень, призначення якого полягає в забезпеченні N - сервісу для $(N + 1)$ - рівня. Визначимо інформаційні змінні:

- $U_p^{(N)}$ інформація управління N - протоколу для обміну двох N - модулів через $(N-1)$ - з'єднання з метою координації їх робіт;
- $D_p^{(N)}$ дані, що передаються на N - рівні за запитом від $(N + 1)$ - модуля;
- $E_p^{(N)}$ одиниця даних N - протоколу;
- $U_1^{(N)}$ інформація управління N - інтерфейсу,
- $D_1^{(N)}$ дані N - інтерфейсу, що передаються від $(N + 1)$ - модуля на нижній за ієрархією рівень;
- $E_1^{(N)}$ одиниця даних N - інтерфейсу при взаємодії $(N + 1)$ - модуля і N - модуля;
- $E_S^{(N-1)}$ одиниця даних $(N-1)$ - сервера, тобто обсяг даних $(N-1)$ - інтерфейсу, що зберігається при передачі між кінцевими модулями $(N-1)$ - з'єднання.

Позначимо $R_F^{(N)}$ - інформаційно-обчислювальний ресурс (ІОР), що надається мережею на рівні N для КПП з ім'ям F . Ресурс вимірюється кількістю інформаційних одиниць рівня N , що надаються мережею за одиницю часу [7]. Відповідно

$$R_F^{(N)} = r^{(N)} p^{(N)}, \quad (1)$$

де $r^{(N)}$ та $p^{(N)}$ - відповідно вузлові і комунікаційні параметри мережі на рівні N .

Функціонування КПП визначається можливістю виділення ІКС ресурсу

$$R_F^{(7)} = \varphi(R_F^{(1)}, \dots, R_F^{(6)}). \quad (2)$$

Розглянемо процес обробки інформації на різних рівнях архітектури ІКМ.

Фізичний рівень становить реальний взаємозв'язок між вузлами мережі. Для i -го з'єднання компонент обрано такі характеристики:

- V_{i_1} - швидкість передачі даних $D_1^{(1)}$ у фізичному середовищі (Кбіт/с);

- l_{i_1} - стандартний розмір фізичного блоку даних (в байтах) для обраного середовища, що визначаються сформованою мережевою архітектурою;
- p_{i_1} - ймовірність спотворення блоку даних.

Тоді з'єднання i_1 надає наступний обсяг ІОР (блок/с):

$$R_{i_1}^{(1)} = \frac{V_{i_1} (1 - p_{i_1})}{8l_{i_1}}. \quad (3)$$

Канальний рівень забезпечує передачу інформації між суміжними вузлами мережі. Визначимо характеристики логічного каналу i_2 :

- l_{i_2} - число байт в інформаційному полі кадру з $D_1^{(2)}$, переданого по логічному каналу i_2 ;
- $t_{i_2}^m$ - час перемикання модемів;
- p_{i_2} - ймовірність спотворення кадру;
- $t_{i_2}^d$ - час, необхідний для посилення підтвердження з $U_1^{(2)}$;
- n_{i_2} - кількість фізичних з'єднань.

При розмірі кадру $E_1^{(2)}$ виділяється обчислювальний ресурс:

$$R_{i_2}^{(2)} = \frac{8l_{i_2} (1 - p_{i_2}) E_1^{(2)} \sum_{i_1=1}^{n_{i_2}} R_{i_1}^{(1)} \sum_{i_1=1}^{n_{i_2}} V_{i_1}}{2t_{i_2}^m + t_{i_2}^d + 70(6 + l_{i_2})}. \quad (4)$$

При встановленні віртуального з'єднання на мережевому рівні передається основний пакет, при цьому віртуальний канал даного рівня надає мережі ІОР, що розраховується за формулою [8]:

$$R_{i_3}^{(3)} = \left(\sum_{i_2=1}^{n_{i_3}} R_{i_2}^{(2)} l_{i_2} - U_1^{(2)} n_{i_3} \right) / \left(E_p^{(3)} - U_p^{(3)} \right), \quad (5)$$

де n_{i_3} - число каналів другого рівня, що надають кадри віртуальному каналу i_3 ; $U_1^{(2)}$ - характеристики каналу; $E_p^{(3)}$, $U_p^{(3)}$ - характеристики структури основного пакета протоколу.

На транспортному рівні [9] окремо виділена транспортна станція має в своєму розпорядженні ресурс

$$R_{i_4}^{(4)} = \text{Ent} \left(\frac{\sum_{i_3=1}^{n_{i_4}} \left[R_{i_3}^{(3)} \left(E_1^{(3)} - U_1^{(3)} \right) \right] - l_4 n_{i_4}}{\left(E_p^{(4)} + 7 \right) - 2e_4^k} \right), \quad (6)$$

де - n_{i_4} - число буферізованих пакетів транспортної станції i_4 ; l_4 - стандартний розмір команди управління транспортним ящиком; e_4^k - кількість

одиночних пакетів, що виділяються для управління і складання вищих рівнів.

На сеансному рівні обсяг обчислювального ресурсу (станд. повід. / C) дорівнює

$$R_{i_5}^{(5)} = \frac{R_{i_4}^{(4)}(E_P^{(4)} + 7) - U_P^{(5)}}{E_P^{(5)}} - n_{i_5}, \quad (7)$$

де n_{i_5} - число транспортних станцій, необхідних для проведення сеансу.

Для ІКС найбільш важливий рівень уявлень. ІОР цього рівня (інф. повідом./C)

$$R_{i_6}^{(6)} = \text{Ent} \left(\frac{R_{i_5}^{(5)} \cdot (E_P^{(5)} - U_P^{(5)})}{\Psi_6(E_P^{(6)})} \right), \quad (8)$$

де Ψ_6 - функція стандартизації повідомлень нерівнозначних програмних компонент.

Прикладний рівень об'єднує призначені для користувача процеси і процеси мережі.

2. *Принцип узгодження цілей та координації управління при розподілі трафіку ІКМ.* Узгодження цілей управління при рішенні завдань оперативного управління підмережами ІКМ можливо в рамках загального функціонала якості управління. Необхідно вирішити задачу настройки мережі, де визначиться, як підмережі зв'язані одна з одною. Можливим рішенням є виділення кожній підмережі певних ресурсів, так, щоб оптимізувати показники якості роботи мережі в цілому [10]. Прийнятним рішенням є застосування адитивного показника якості роботи мережі

$$GT^* = \sum_i e_i GT_i^*(UN_{i_i}^*), \quad (9)$$

де e_i - ваговий коефіцієнт для показника якості роботи i -ї підмережі, а величини $GT_i^*(UN_{i_i}^*)$ обчислюються за формулою

$$GT_i^*(UN_{i_i}^*) = \text{opt}_{UN_{i_i}} \left(\sum_{k=1}^L b_{lk} \sum_{j=1}^Q a_{lij} q_{jk} (QT_{lij}(S_{ik})) \right), \quad (10)$$

де UN_{i_i} - множина параметрів оперативного управління підмережою, $i = 1, 2, \dots, Q$; QT_{li} - множина показників якості оперативного управління підмережою; QT_{lik} - множина показників якості оперативного управління підмережою для кожного завдання, що вирішується в підмережі, $k = 1, 2, \dots, L$;

$q_{jk}(QT_{lij}(S_{ik}))$ - множина значень показників якості вирішення часткових завдань S_{ik} ;

b_{lik} - множина вагових коефіцієнтів для часткових завдань підмережі;

a_{lij} - множина вагових коефіцієнтів для показників якості вирішення часткових завдань.

Узгодження цілей при вирішенні завдань усередині підмережі пропонується забезпечити шляхом урахування ресурсів, що виділяються для кожного завдання або групи завдань.

Позначимо кількість видів ресурсів, які розподіляються між групами завдань - R . Число типів завдань позначимо T . Введемо матрицю розподілу ресурсів

$$RS = \parallel rs_{ij} \parallel, i = \overline{1, T}, j = \overline{1, R}, \quad (11)$$

де $rs_{ij} \in [0, 1]$ - частка ресурсу виду j , виділеного завданням типу i , а для елементів матриці RS повинні виконуватися умови:

1) кожен ресурс повністю розподіляється між завданнями

$$\sum_{i=1}^T rs_{ij} = 1, j = \overline{1, R}; \quad (12)$$

2) кожне завдання може отримувати або не отримувати частку кожного з ресурсів

$$\sum_{j=1}^R rs_{ij} \geq 0, i = \overline{1, T}. \quad (13)$$

Матриця RS дозволяє встановити, як розподіляються ресурси між завданнями і є елементом множини параметрів управління.

У загальному випадку, завдання оперативного управління, пов'язане з розподілом ресурсів, може бути сформульоване таким чином.

Знайти оптимальне значення функції:

$$GT_i^*(RS) = \text{opt}_{RS} \sum_{k=1}^T b_{lk} \left(\sum_{j=1}^Q a_{lij} q_{jk} (QT_{lij}(S_{ik})) + \sum_{m=1}^R c_{km} rt_m rs_{km} \right), \quad (14)$$

де c_{km} - множина вагових (вартісних) коефіцієнтів для ресурсів, що виділяються завданням при заданій системі обмежень, $c_{km} \geq 0, k = \overline{1, L}, m = \overline{1, R}$;

1) кожен i -й тип завдань повинен отримати необхідну кількість ресурсів виду j

$$(rt_j)(rs_{kj}) \geq \underline{rt}_{kj}, j = \overline{1, R}, k = \overline{1, T}, \quad (15)$$

де \underline{rt}_{kj} - мінімальна допустима кількість ресурсу виду j , що виділяється групі завдань типу k ;

2) сумарний об'єм ресурсів виду j , що виділяються всім завданням, не повинен перевищувати загальної кількості наявних ресурсів цього виду

$$\sum_{k=1}^L (rs_{kj})(rt_j) \leq rt_j, j = \overline{1, R}. \quad (16)$$

Результатом рішення даної задачі буде розподіл ресурсів підмережі номер i між завданнями, що вирішуються на цій підмережі.

3. *Принцип потокового управління в методах розподілу трафіка.* Методи управління потоками даних у сучасних ІКМ використовують в рамках передових концепцій мережевого управління, таких як Traffic Engineering (TE), Active Network (AW), Network Engineering (NE) [11]. Для реалізації даних методів використовується той чи інший математичний апарат, наприклад, теорія мережевого управління, теорія ймовірностей, теорія випадкових процесів, математичне програмування, оптимальне управління динамічними системами та ін. При застосуванні *мережевих методів* основна увага приділяється особливостям структури ІКМ [12].

Для вирішення однопродуктової задачі можна використовувати теорему Форда-Фалкерсона про максимальний потік для мережі з одним джерелом і одним стоком [13]. Для вирішення багатопродуктової задачі вводиться параметр резервування пропускної здатності (φ_i) i -го елемента мережі (r_i), а для вибору оптимального шляху вирішується наступна рівність

$$\varphi_z = \min_{i \in M_z} (\varphi_j | \varphi_j = \max((\varphi_i - r_i), 0)), \quad (17)$$

де M_z - множина всіх допустимих шляхів z -ї складової.

Для забезпечення збалансованого завантаження мережі використовується узагальнений алгоритм Дейкстри, а рішення зводиться до оптимізаційної задачі

$$\varphi(P_k) = \min_{i, j \in P_k} (\varphi_{ij} | \varphi(P_k) \geq \varphi_p^k; k = \overline{1, K}), \quad (18)$$

де φ_{ij} - пропускна здатність тракту (i, j),

φ_p^k - необхідна пропускна здатність шляху P_k .

Задача балансування мережі зводиться до наступної оптимізаційної задачі

$$\varphi(M, F) = \max_{\varphi \in \Phi} (\varphi), \quad (19)$$

при обмеженнях

$$\begin{aligned} \sum_{p \in P} F_{ij}^p &= \varphi; \\ \sum_{p \in P} F_{ij}^p &\leq M_{ij}; \\ F_{ij}^p &\geq 0; \forall i, j, p, \end{aligned} \quad (20)$$

де F_{ij}^p - потік із i -го вузла до вузла j шляхом $p \in P$,

P - кількість допустимих шляхів, $M_{ij} \in M$ - матриця пропускних здатностей.

Умови балансування зводяться до задачі динамічного або цілочисельного програмування [14] з мінімізацією величини максимального завантаження мережеских трактів з урахуванням необхідної для кожного процесу частки смуги пропускання.

При динамічному управлінні потоками даних в ІКМ значне поширення отримали методи, що використовують апарат диференційно-інтегральних рівнянь, який дозволяє одночасно враховувати просторові й часові характеристики досліджуваних процесів. Для опису динаміки зміни інтенсивності інтегральних потоків $\lambda_i(t)$ використовується система нелінійних інтегральних рівнянь Вольтера другого роду:

$$\lambda_i(t) = \sum_{j \neq i} \int_0^t p_{ji} (\lambda_j^0 + \lambda_i(\tau)) \times \quad (21)$$

$$\times \varphi_{ji} \left((t - \tau) \lambda_j^0 + \lambda_i(t - \tau) \right) \lambda_i(\tau) dt + \Delta_i(t),$$

де j - номер черги на вузлі i ;

$p_{j,i}(\lambda_j^0)$ - ймовірність обслуговування пакетів,

якщо λ_j^0 - інтенсивність їх отримання у j -у чергу вузла i при $t = 0$;

$\varphi_{j,i} = \frac{d}{dt} \Phi(\tau, \lambda_j^0)$ - щільність розподілу часу

обслуговування пакетів в j -й черзі на вузлі i ;

$\Delta_i(t)$ - детермінована складова потоку.

При використанні різниць рівнянь станів, що характеризують досліджувані процеси, динаміка процесу може бути промодельована системою рівнянь завантаження буферів черг на вузлах ІКМ [15], що описує обсяг даних, які передаються з i -го вузла на j -й у момент часу t_k :

$$\begin{aligned} x_{ij}(k+1) &= x_{ij}(k) - \sum_{l \neq i} b_{ij}^{(\mu)}(k) u_{ij}^{(\mu)}(k) + \\ &+ \sum_{m \neq i, j} b_{mi}^{(\mu)}(k) u_{mij}^{(\mu)}(k) + y_{ij}(k); \end{aligned} \quad (22)$$

$$b_{mi}^{(\mu)}(k) = c_{mi}(k) \Delta t; \quad y_{ij}(k) = \xi_{mi}(k) \Delta t,$$

де $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ - ступінь дискретизації для розрахунку маршрутних змінних;

$c_{m,i}(k)$ - доступна пропускна здатність маршруту (m, j) у момент часу t_k ;

$\xi_{m,i}(k)$ - інтенсивність надходження даних по маршруту (m, j) у момент часу t_k ;

$u_{i,l,j}^{(\mu)}(k)$ - маршрутна змінна.

Однак при більших розмірностях оптимізаційної задачі її аналітичний розв'язок неможливий. В таких випадках більш ефективними є методи імітаційного моделювання.

4. *Принцип оптимізації при управлінні параметрами ІКС.* Сформулюємо узагальнений критерій якості структури ІКС. Для порівняльної оцінки якості функціонування ІКС використовуються різні часткові кількісні показники.

Потужність підмножини часткових показників $Q \subseteq D$ для ІКС варіюється від 10 до 50 [16]. Аналіз

множини часткових показників Q дозволяє розбити його на підмножини основних показників Q_j з різними ваговими коефіцієнтами λ_j , тобто

$$Q = \bigcup_{j=1}^k Q_j. \quad (23)$$

Підмножини Q_j визначаються таким чином:

- Q_1 - група показників витрат на адаптацію програмно-технічних засобів;
- Q_2 - група показників оцінки функціонування технічних засобів ІКС;
- Q_3 - група показників оцінки функціонування системного програмного забезпечення;
- Q_4 - група показників оцінки витрат ІОР на виконання прикладних завдань у вузлах мережі;
- Q_5 - група показників оцінки витрат на обмін інформацією між вузлами мережі;
- Q_6 - група показників оцінки витрат при модернізації і розширенні вузлів ІКМ.

Для зменшення обчислювальних труднощів при оцінці основних показників пропонується вибір в кожній підмножині Q_j одного основного показника $Q_{Oj} \in Q_j$. Тоді кількісна оцінка N_j підмножини Q_j визначається виразом

$$N_j = \frac{Z_j^{(S)}}{Z_j^{(K)}}, \quad (24)$$

де $Z_j^{(K)}$ - значення основного показника ефективності ІКМ; $Z_j^{(S)}$ - мінімальне значення основного показника, що визначається потребами СКІ.

Завдання багатокритеріального вибору оптимальної структури ІКМ відповідає вибору точки $z \in \Pi$ (Π - простір варійованих параметрів системи) всередині області допустимих рішень, обмеженою гіперплощинами:

$$\Pi = \left\{ \Pi_j(N_j) \mid N_i \leq 1, \forall i \in \overline{1, k} \right\}. \quad (25)$$

Завдання обмежень і критеріїв визначає множину P_d допустимих точок простору кількісних оцінок $P : P_d \subset P$.

Для множин часткових показників якості структури ІКС найбільш значущим критерієм є узагальнений показник R - сумарний розмір ІОР для функціонування СКІ. Його числове значення визначається за допомогою функціоналу

$$F(R) = \varphi(t_s, t_c, V_1, V_i, p_c, t_t), \quad (26)$$

де t_s - параметр, що відображає астрономічний час розв'язання прикладної задачі в мережі;

t_c - параметр, що визначає сумарний процесорний час в вузлах мережі на виконання окремої прикладної задачі;

V_1 - параметр, що визначає сумарний обсяг необхідної зовнішньої пам'яті;

V_i - параметр, що визначає сумарні обсяги оперативної пам'яті по всіх вузлах мережі;

p_c - параметр, що визначає пропускну здатність задіяних каналів мережі;

t_t - параметр, що визначає сумарний час обробки транзакцій активної підсистеми СКІ.

Для функціональних процесів СКІ параметри V_i і V_1 не накладають істотних обмежень на завдання, а тому можна припустити, що для R існує кількісна оцінка для конкретних елементів технічної структури мережі. У цьому випадку функція φ є лінійною комбінацією змінних $R_{ij}^{(7)}$, що визначають розмір ІОР, що виділений на верхньому рівні мережі для інформаційних повідомлень відповідних прикладних завдань функціонального підмножини L_i , що характеризується показниками з множини часткових показників Q_j .

Отже, функціонал $F(R)$ конкретизується наступним чином

$$F(R) = \sum_{j=1}^k \sum_{i \in L_R} \alpha_j \lambda_j^i R_{ij}^{(7)}, \quad (27)$$

де α_j - вагові коефіцієнти множини Q_j ; λ_j^i - коефіцієнт, що враховує інтенсивність потоку інформаційних повідомлень групи прикладних задач з функціональної підмножини L_i , визначеного розбиттям L_R , що використовують ІОР, який характеризується показниками з множини Q .

Критерій (27) враховує способи організації обміну інформацією при функціонуванні різних підсистем СКІ, зв'язку між окремими елементами системи, параметри вузлів мережі, функціональне призначення СКІ.

5. *Принцип ризик-орієнтованого управління при забезпеченні безпеки СКІ.* Оцінювання інформаційного ризику ІКС виконується поетапно. На першому етапі здійснюється побудова структурної діаграми, визначаються часткові ризики, чинники, що їх викликають та можливі наслідки виникнення ризиків. Взаємозв'язок між цими складовими відображаються у вигляді причинно-наслідкової діаграми [17].

Так як кількість взаємозв'язків між факторами ризиків і ризиковими подіями велика, то для наочності подальшого аналізу взаємозв'язок між факторами, пов'язаними з ними проявами ризику і наслідками представляється у вигляді таблиць з ідентифікацією

кожного з наслідків як змінної з відповідним індексом. Для кількісної оцінки впливу інформаційного ризику на функціонування ІКМ пропонується використовувати метод, заснований на теорії причинного аналізу. Модель ризиків у вигляді причинно-наслідкової мережі може бути заснована на побудові і аналізі ймовірнісних або нечітких когнітивних карт [18]. Когнітивна карта визначається як кортеж множин:

$$K = (\{P, R, S\}, F, \{B, C\}),$$

де $\{P, R, S\}$ – множина елементів, в даному випадку складається з трьох підмножин (фактори, ризики, наслідки); F – множина зв'язків між елементами; $\{B, C\}$ – множина ваг цих зв'язків.

Когнітивна карта трансформується в знаковий орієнтований граф, у вершинах якого розташовуються ключові елементи об'єкта моделювання, пов'язані між собою дугами, що відображають причинно-наслідкові зв'язки між ними. Ці зв'язки характеризують ступінь впливу елементів один на одного і задаються за допомогою коефіцієнтів або лінгвістичних термів:

$B = \{b_{ij} \mid i=1..n, j=1..m\}$ – коефіцієнти впливу i -го фактора на виникнення j -го прояву ризику, $0 \leq b_{ji} \leq 1$;

$C = \{c_{jk} \mid j=1..m, k=1..h\}$ – коефіцієнти впливу j -го прояву ризику на k -й наслідок, $0 \leq c_{kj} \leq 1$.

Значення b_{ij} і c_{jk} можна визначити об'єктивним чи суб'єктивним методом на підставі минулого досвіду. Тоді оцінка можливості виникнення k -го наслідку здійснюється за формулою:

$$P(S_k) = \sum_i \sum_j b_{j,i} c_{kj}.$$

Можливий збиток для функціонування мережі G_{kj} , що визначається k -м наслідком, який викликаний j -м частковим ризиком G_{kj} обчислюють на підставі співвідношення [19]:

$$G_{kj} = P(S_k)H(R_j \rightarrow S_k)f_k,$$

де $P(S_k)$ – ймовірність k -го наслідку;

$H(R_j \rightarrow S_k)$ – приведений ефект впливу ризику R_j на характеристику S_j ,

f_k – показник, що відображає цінність k -ї характеристики.

Запропонований метод кількісної оцінки ризику ІКМ заснований на теорії причинно-наслідкового аналізу і дозволяє враховувати чинники ризику і можливі наслідки.

Висновки

Проведено аналіз принципів побудови розподілених систем критичної інфраструктури. Аналіз особливостей СКІ, показав, що система цього типу має функціонувати безперервно, з урахуванням можливої зміни стану внутрішнього і зовнішнього середовища в кожен момент часу. Тому розглянуто

властивості систем критичної інфраструктури як системи управління в режимі реальному часу.

Визначено особливості аналізу структури і параметрів ІКМ СКІ. Перелічено вимоги для розрахунку характеристик інформаційної і технічної структури мережі.

Вказані кроки аналізу, синтезу та управління ІКМ є основою структури методології ризик-адаптованого управління параметрами ІКМ СКІ. Сформульовано та розкрито сутність принципів запропонованої методології. Визначено склад та особливості моделей і методів, які є основою методичного апарату.

Принцип ієрархічності реалізований в основних вимогах до мережевих протоколів. Аналіз цих вимог дозволив з'ясувати шляхи вирішення завдання вибору можливих варіантів побудови структури ІКМ, яка забезпечить функціонування СКІ в реальному масштабі часу.

Визначені можливості застосування принципів управління складною системою: координація і узгодження цілей у разі управління розподілом трафіку. Для узгодження цілей управління запропоновано використовувати адитивні функціонали якості управління всією мережею, які містять зважені функції якості управління окремими підмережами, що дозволяє локалізувати завдання оперативного управління.

В якості реалізації принципу потокового управління розглянуті основні методи управління розподілом трафіку в мережі і застосовані в них математичні моделі. Показано, що ефективність використання мережевих ресурсів може бути підвищена за рахунок розробки та застосування методів адаптивного управління. У свою чергу, застосування запропонованих моделей в адаптивних методах управління параметрами мережі дозволить забезпечити виконання вимог до продуктивності і надійності мережі та безпеки СКІ.

В частині реалізації принципу оптимальності рішень здійснено вибір показників ефективності передачі даних в ІКМ СКІ, в якості яких обрано показники ефективності функціонування мережевого протоколу. Визначено критерій вибору найкращого мережевого протоколу ІКМ, в якості якого виступає вимога щодо мінімізації узагальненого показника ефективності.

Для реалізації принципу ризик-орієнтованого управління запропоновано використовувати причинно-наслідкові діаграми чинників, проявів і наслідків ризиків. Запропонований спосіб кількісної оцінки можливості виникнення наслідків ризиків. Також проводиться кількісна оцінка можливих збитків для функціонування мережі, що визначається конкретним наслідком, який викликаний частковими ризиками.

Таким чином, методологія ризик-адаптованого управління параметрами ІКМ СКІ реалізує структурно-параметричний синтез інформаційної і технічної складової, адаптивне управління трафіком з урахуванням оптимального розподілу прикладних завдань по вузлах мережі та двоконтурне управління ризиками, що дозволить забезпечити функціонування ІКС, адаптивне до зовнішніх умов та стійкого до ризиків, що сприяє підвищенню безпеки СКІ.

Список літератури

1. Гончар С.Ф. Шляхи удосконалення державної політики забезпечення інформаційної безпеки критичної інфраструктури України : матеріали круглого столу / С.Ф. Гончар // Актуальні проблеми та шляхи їх розв'язання - Київ, НАДУ при Президентіві України (кафедра національної безпеки). - 2014. - С.92-95.
2. Кучук Г.А. Управление ресурсами инфотелекоммуникаций / Г.А. Кучук, Р.П. Гахов, А.А. Паинев. - М.:Физматлит, 2006. - 220 с.
3. Олифер, В. Г. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. - 3-е изд. - СПб.: Питер, 2008. - 958 с.
4. Бородакий Ю.В. Эволюция информационных систем (современное состояние и перспективы) / Ю.В. Бородакий. - М.: Горячая Линия - Телеком, 2011. - 368 с.
5. Поповский В.В. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах / В.В. Поповский, В.Ф. Олейник. - Х.: ООО "Компания СМІТ", 2011. - 362 с.
6. Микитишин А.Г. Комп'ютерні мережі / А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П. Д. Стухляк, В.В. Пасічник. - Львів: «Магнолія 2006», 2013. - 256 с.
7. Козлов С. В. Оптимальное распределение информационно-вычислительных ресурсов на основе двухуровневого критерия / С.В. Козлов, Ю.П. Остриков, А.Л. Суханов // Управление большими системами: сборник трудов. - 2014. - С. 71 - 84.
8. Буров С. В. Комп'ютерні мережі / С. В. Буров - Львів: «Магнолія 2006», 2010. - 262 с.
9. Информационно-вычислительные сети [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.pravo.vuzlib.su/book_z1436_page_6.html.

10. Косенко В.В. Управление розподілом трафіку підмереж багаторівневої адаптивної інформаційно-телекомунікаційної мережі / В.В. Косенко, Р.В. Артюх, О.Ю. Персіянова // Системи управління, навігації та зв'язку. - П.: ПНТУ, 2016. - №4(40). - С. 73-75

11. MPLS Traffic Engineering (TE) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.mplsinfo.org/traffic-engineering.html>.

12. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов / Ф.А. Новиков. - СПб.: Питер, 2009. - 384 с.

13. Грешилов А. А. Математические методы принятия решений / А. А. Грешилов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. - 647с.

14. Девятерикова М. В. Унимодулярные преобразования для задач целочисленного программирования и анализ эффективности их применения // М.В. Девятерикова, А.А. Колоколов, А.П. Колосов // Тр. Ин-та математики и механики. - 2010. - Т. 16. - С. 48-62.

15. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / За загал. ред. В.В. Поповського. - Х.: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. - 564 с.

16. Поштаренко В. М. Обеспечение качества обслуживания на критических участках мультисервисной сети / Поштаренко В. М., Андреев А. Ю., Амаль М. // Вісник Національного технічного університету. - 2013. - № 60. - С. 94-100.

17. Малеева О.В. Анализ взаимодействия внутренних и внешних рисков на основе причинно-следственной диаграммы / О.В. Малеева, Н.И. Сытник // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. - 2007 - №1. - С. 73-76.

18. Кирьянов В. В. Усовершенствование организационных основ создания комплексной системы защиты информации в информационно-телекоммуникационной системе [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://masters.donntu.org/2014/frt/kyryanov/diss/index.htm>.

19. Надеждин Е.Н. Методика оценивания рисков информационной безопасности в вычислительных сетях образовательных учреждений [Електронний ресурс] / Е.Н. Надеждин, В.А. Шептуховский - Режим доступу: <http://www.masters.donntu.org/2014/frt/vashakidze/library/8.htm>.

Надійшла до редколегії 2.08.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Рубан, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ МЕТОДОЛОГИИ РИСК-АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В.В. Косенко, Р.В. Артюх, А.А. Белоцкий, Е.Ю. Персиянова

В статье рассматривается проблема информационного обеспечения для функционирования систем критической инфраструктуры (СКИ), адаптивного к внешним условиям и устойчивого к рискам. Рассмотрены особенности СКИ как системы управления в реальном времени. В соответствии с этими особенностями сформулированы принципы методологии риск-адаптивного управления параметрами инфокоммуникационной сети (ИКМ) СКИ. Предложены модели формализации таких принципов: иерархичности, согласования целей и координации управления, потокового управления, оптимизации и риск-ориентированного управления.

Ключевые слова: инфокоммуникационная сеть, риски, адаптивное управление, информационная структура, параметры, методология.

REALIZATION OF PRINCIPLES OF METHODOLOGY OF RISK-ADAPTIVE MANAGEMENT OF PARAMETERS OF INFOCOMMUNICATION NETWORKS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE SYSTEMS

V.V. Kosenko, R.V. Artyukh, O.O. Belotsky, O.Yu. Persia

The article deals with the problem of information provision for the functioning of critical infrastructure (SCI) systems, adaptive to external conditions and risk-resistant. Features of SKI as a real-time management system are considered. In accordance with these features, the principles of the methodology of risk-adaptive management of the infocommunication network (ICM) SCI parameters are formulated. Models of formalization of such principles are proposed: hierarchy, coordination of goals and coordination of management, stream management, optimization and risk-oriented management.

Keywords: infocommunication network, risks, adaptive management, information structure, parameters, methodology.