

УДК 621.391.83

DOI: 10.31673/2412-9070.2023.050308

А. Г. ЗАХАРЖЕВСЬКИЙ, канд. техн. наук,

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

## МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЮ МЕРЕЖЕЮ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Розглянуто питання оцінювання якості функціонування системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення.**

**Встановлено, що оцінювання якості функціонування системи керування потребує визначення її властивостей, які впливають із мети функціонування і завдань керування, та структуризації відповідних властивостям параметрів оцінювання. Запропоновано розподіл властивостей системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення та структуризовано відповідні їм параметри оцінювання. Як властивості системи керування визначено структурні властивості схеми побудови, функціональні властивості процесу керування та функціональні властивості системи керування. Якість функціонування системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення запропоновано оцінювати показником оперативності керування. Його визначено як здатність системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення виконувати процеси контролю та керування станами мережі в установлені терміни.**

**Для оцінювання якості функціонування системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення запропоновано відповідну модель оцінювання. Зазначена модель дає змогу оцінити якість функціонування системи керування за показником оперативності з огляду на складові процесу керування та математичні сподівання відповідних випадкових величин часових параметрів процесу керування.**

**Ключові слова:** система керування; інфокомунікаційна мережа; оперативність керування; властивості системи керування; параметри системи керування.

### Вступ

Останніми роками стрімко зростає різноманіття типів інфокомунікаційних мереж спеціального призначення (ІКМСП), збільшується різноманітність їх складових елементів та кількість параметрів, що характеризують стан цих елементів, зумовлюючи потребу в розширенні спектра підходів до керування зазначеними мережами. Водночас розширення підходів до керування ІКМСП потребує вдосконалення процесів і процедур функціонування всіх її систем, зокрема і системи керування (СК). Це вимагає уточнення, а в деяких випадках і нового визначення головних властивостей та відповідної структуризації параметрів оцінювання ефективності функціонування СК [1].

Варто зауважити, що будь-який процес керування, котрий є сукупністю цілеспрямованих операцій збору та оброблення інформації, ухвалення рішень, доведення рішень до об'єктів керування, а також контролю виконання вироблених рішень, може бути реалізований різними способами [1; 2]. Відповідно до цього якість процесу керування сприймається як сукупність властивостей, що зумовлюють його придатність до деякого цільового застосування згідно з вибраним способом керування. Для оцінювання якості СК потрібно виокремити властивості процесу керування та встановити відповідні їм основні параметри оцінювання з огляду на вибраний спосіб керування та особливості функціонування даної телекомунікаційної мережі [1; 2].

Інфокомунікаційні мережі спеціального призначення мають низку особливостей функціонування, пов'язаних зі специфічним завданням щодо збереження конфіденційності переданих даних та особливих умов конфіденційного доступу до каналів передавання інформації. Розв'язання зазначених завдань передбачає додаткове застосування необхідного мережного обладнання та програмних засобів, які мають забезпечити вирішення цих завдань і відповідне формування властивостей СК [1; 3].

Ефективність функціонування СК ІКМСП відображає її властивості виконувати поставлені завдання щодо контролю та керування станами мережі та формування рішень стосовно відповідного впливу на ІКМСП за умов обмеженості обчислювальних та часових ресурсів. Оцінювання ефективності СК ІКМСП передбачає вибір необхідних параметрів її функціонування, який впливає з притаманних саме цій СК властивостей. Результатом такого вибору є формування обґрунтованої альтернативи переліку таких параметрів та розроблення моделі, яка б дала змогу за їхніми значеннями оцінити ефективність функціонування СК ІКМСП [3; 4].

Розробленню такої моделі має передувати потрібний аналіз процесу функціонування ІКМСП, визначення її основних властивостей, структуризації відповідних властивостям СК параметрів, обґрунтованого вибору найбільш показових із них відносно оцінювання ефективності функціонування СК.

© А. Г. Захаржевський, 2023

Отже, формується нове наукове завдання щодо визначення показників оцінювання ефективності СК ІКМС та розроблення відповідної моделі, яка б уможливила проведення оцінювання ефективності СК.

Питання керування СК ІКМСП розглядалися в низці наукових праць, присвячених створенню, побудові та функціонуванню як загалом телекомунікаційних, так і безпосередньо ІКМСП, що забезпечують захист інформації та обмежений доступ до каналів її передавання [3-7].

Статтю [3] присвячено агрегованому потоку даних захищеної корпоративної мультисервісної мережі зв'язку, в ній визначаються загальні завдання безпосереднього керування таким потоком як частковим завданням системи керування. Як оцінювання ефективності розв'язання розглядуваного завдання тут запропоновано час затримки. Він по суті є одним із можливих складових загального критерію оцінювання якості керування ІКМСП, але не може бути використаним для проведення повного оцінювання зазначеної якості.

У [4] подано формалізовані вимоги до керування телекомунікаційними мережами та зазначено напрямки формування системи параметрів оцінювання якості керування. Безпосередні питання формування системи властивостей та визначення основного параметра оцінювання якості СК ІКМСП у цій статті не розглядалися.

Питання розроблення моделі оцінювання ефективності функціонування СК телекомунікаційної мережі було досліджено в [5; 6]. Визначено основні напрямки розроблення таких моделей та обґрунтовано систему формування властивостей, завдань та параметрів оцінювання якості СК телекомунікаційних мереж. Безпосередньо система властивостей та критерії оцінювання якості функціонування СК ІКМСП тут не вивчалися.

Системи параметрів оцінювання якості керування в межах дослідження когнітивних методів керування інфокомунікаціями було проаналізовано в [7]. Визначено зв'язок часових параметрів та процесу оцінювання якості керування мережею та подано їх сумісність з одним із завдань мережі, а саме із забезпеченням керування затримкою передавання даних через мережне обладнання.

Проведений аналіз низки найбільш показових праць щодо розроблення моделі оцінювання ефективності СК телекомунікаційних мереж спеціального призначення, визначені в них невідповідності, які стосуються відсутності відповідних методів та невизначеності з обґрунтуванням параметрів оцінювання — усе це формує нове актуальне наукове завдання, розв'язанню якого присвячено це дослідження.

**Метою статті** є підвищення ефективності оцінювання якості функціонування СК ІКМСП. Для досягнення зазначеної мети потрібно розв'язати такі завдання:

- сформулювати властивості, притаманні системі керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення та структурувати параметри, що забезпечують підтримання цих властивостей;
- розробити математичні залежності розрахунку основних параметрів оцінювання якості та на їх основі узагальнити модель оцінювання якості функціонування системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення.

#### *Основна частина*

Систему керування ІКМСП можна розглядати як суму процесів, що реалізують функції та завдання керування. Аналіз властивостей окремих процесів СК дає змогу сформулювати низку вимог до СК ІКМСП.

Усю множину вимог до перспективної СК ІКМСП можна подати через класифікацію її властивостей, які кількісно забезпечуються відповідними кожній властивості параметрами.

Основною метою функціонування СК ІКМСП є забезпечення використання всіх функцій розглядуваної мережі під час розв'язання поставлених завдань захищеного передавання даних.

Досягнення цієї мети пов'язане з вирішенням низки важливих завдань, основними з яких є такі [1; 3; 4]:

- збирання, оброблення та аналіз даних стану мережі;
- підготовка та ухвалення рішень для усунення відмов та несправностей;
- розроблення процедур керування мережею;
- формування завдань для виконавчих елементів СК;
- організація та підтримання взаємодії підсистем;
- організація керування під час виконання завдань;
- резервування та контроль роботи підсистем.

Аналіз порядку функціонування СК ІКМСП та вимоги до якості виконання нею завдання з керування дає можливість сформулювати якісні властивості СК та структурувати відповідні їм параметри [7; 8].

Результати аналізу та структуризації параметрів подано в таблиці.

## Характеристики системи та процесу керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення

Клас властивостей	Властивість	Параметр	Примітка
Структурні властивості схеми побудови	Структура системи керування, кількість елементів та їх взаємозв'язок	Тип структури	$Class_j^i \supseteq \{S_{1...12}^i, O_{1...6}^i\}$
		$K \geq 1$	Залежно від просторового розмаху кількість керованих елементів $K$ може бути різною, але завжди більшою за нуль
	Тип взаємодії елементів	Лінійний, функціональний, лінійно-функціональний	
Просторовий розмах	Просторовий розмах	$L = \sum_{i=1}^K L_i$ $N = \sum_{i=1}^K N_i$	Просторовий розмах мережі можна оцінювати за такими показниками: - сумарною протяжністю $L$ лінії зв'язку - кількістю $N$ рівнів ієрархії
Функціональні властивості процесу керування	Адекватність	$K_{п.н.р} = 1 - K_{п.р}$	Коефіцієнт ризику $K_{п.н.р}$ підготовки неякісного рішення є зворотним за значенням коефіцієнта $K_{п.р}$ підготовки рішення
	Оптимальність	$O_i = \min \sum_{i=1}^p R_i$	Показник оптимальності $O_i$ зводить до мінімуму витрати ресурсів $R_i$ через пошук найменшого
	Оперативність керування	$T_{кер}^{доп} = T_{ч}^{доп} + T_{п.д}^{доп}$	$T_{ч}^{доп}$ — допустимий час вироблення рішення; $T_{п.д}^{доп}$ — допустимий час передавання даних
	Неперервність	$T_{кер} \leq T_{кер}^{доп}$	Визначає допустимий час у перерві зв'язку, потрібний для надання та отримання послуг із керування
	Прихованість	$K_{пр} = 1 - P_K$	Коефіцієнт $K_{пр}$ прихованості визначається ймовірністю $P_K$ компрометації ухваленого рішення
	Готовність	$T_{Г} \leq T_{Г}^{доп}$	Фактичний час приведення СК у необхідний ступінь готовності $T_{Г}$ не повинен перевищувати допустимий час $T_{Г}^{доп}$ за цим параметром
Функціональні властивості системи керування	Стійкість (живучість, надійність)	$N_c = P_{ж} \cdot P_n$	Стійкість СК $N_c$ залежить від її живучості, ймовірності $P_{ж}$ ураження системи та надійності $P_n$ коефіцієнта готовності системи
	Мобільність	$T_{моб} = t_{зг} + t_{розг} + t_{н.к}$	$t_{зг}$ — час згортання елементів системи зв'язку (вузлів, ліній, станцій); $t_{розг}$ — час розгортання елементів системи зв'язку (вузлів, ліній, станцій); $t_{н.к}$ — час налаштування каналів та здачі в експлуатацію. При цьому має виконуватися умова відповідності фактичного часу його допустимому значенню: $T_{моб} \leq T_{моб}^{доп}$
	Продуктивність	$T_{обр} \leq T_{обр}^{доп}$	$T_{обр}$ і $T_{обр}^{доп}$ — фактичний час відповідно оброблення та перетворення інформації та її допустимий параметр
	Керованість	$T_{перех} \leq T_{перех}^{доп}$	Система керована, якщо за будь-якого з допустимих станів існує дія, що переводить систему в новий стан за допустимий час

Ефективність функціонування СК ІКМСП можна оцінити за низкою показників, які кількісно оцінюють якість виконання завдання керування, спрямованого на досягнення мети керування.

Найбільш складним завданням для СК є забезпечення надійності передавання даних за умов впливу відмов та несправностей. Його виконання потребує вчасного ухвалення рішення на переконфігурацію мережі з метою пошуку та формування нових надійних каналів передавання корисних даних в обхід ланок та гілок фрагментів мережі, що перебувають у несправному стані [8; 9].

Для ухвалення рішення щодо усунення відмов та несправностей на гілках фрагментів ІКМСП та її реструктуризації з метою формування нового надійного каналу передавання даних потрібно здійснити оперативне керування станами елементів ІКМСП. Під оперативністю керування розумітимемо здатність елементів СК ІКМСП виконувати необхідні операції у встановлені терміни [9; 10]. Тоді показник оперативності отримання інформації та команд із керування ІКМСП, за який візьмемо час, що витрачається на керування  $T_{кер}$ , має враховувати тривалості складових його основних процесів [10; 11].

Застосування такого показника передбачає формування дискретно-подійної моделі керування, яка забезпечує формування процесів керування станами ІКМСП, що визначаються термінами початку та закінчення кожного підпроцесу з керування [7-9].

Для першого етапу керування – планування, оцінювання оперативності системи керування ІКМСП може бути подано у такому вигляді:

$$T_{\text{пл}} = t_{\text{діаг}} + t_{\text{п.д.і}} + \sum_{i=1}^3 t_{\text{ухв.р}} + t_{\text{ф}} + t_{\text{дов}}, \quad (1)$$

де  $t_{\text{діаг}}$  — час діагностування елементів мережі між внутрішніми та зовнішніми засобами діагностики;  $t_{\text{п.д.і}}$  — час передавання діагностичної інформації в систему керування ТМЗ;  $t_{\text{ухв.р}}$  — час ухвалення рішення на різних рівнях системи керування ТМЗ;  $t_{\text{ф}}$  — час формування директив на планування;  $t_{\text{дов}}$  — час доведення керувальних впливів  $U_i$ .

Для оперативного керування, яке зазвичай здійснюється на основі ситуаційного принципу і за своїм характером відрізняється від планування, оцінювання оперативності системи керування визначається за формулою

$$T_{\text{о.кер}} = t_{\text{діаг}} + t_{\text{п.д.і}} + \sum_{i=1}^3 t_{\text{ухв.р}} + t_{\text{дов}}. \quad (2)$$

Відповідно до методології керування складними процесами передавання даних усі складові виразів (1) і (2) розглядаються як математичні сподівання відповідних випадкових величин [8; 9; 11]. Під час розрахунку показників оперативності передбачається, що тривалість операцій є випадковою величиною з однаковим типом розподілу всім операцій. Як математичні сподівання таких показників оперативності беруться дані, здобуті в імітаційних моделях [9; 12].

Для визначення тривалості та дисперсії всього процесу керування пропонуються відповідно такі вирази [9; 12]:

$$T_{\text{кер}} = \sum_{i=1}^m M_j, \quad (3)$$

$$D_{\text{кер}} = \sum_{i=1}^m D_j. \quad (4)$$

Рівність (3) є частиною виразу (1), призначеного для обчислення часу оперативного керування та розраховується відповідно до даних з тривалості складових загального процесу керування. До них належать такі складові: перевірка цілісності маршруту, перевірка параметрів елементів мережі та передавання інформації в базу даних стану мережі, локалізація несправності на фрагменті мережі, сигналізація аварійного стану елементів мережі, реконфігурація маршруту з використанням протоколу захисного перемикавання.

З визначення якості функціонування СК через параметр оперативності випливає, що ще однією важливою характеристикою функціонування системи керування мережею є ймовірність, що тривалість керування не має перевищувати деякий допустимий час, тобто  $p(T_{\text{кер}} \leq T_{\text{кер}}^{\text{доп}})$ .

Розрахунок цього показника пропонується здійснити за виразом

$$p(T_{\text{кер}} \leq T_{\text{кер}}^{\text{доп}}) = \Phi \left[ \frac{T_{\text{кер}}^{\text{доп}} - T_{\text{кер}}^p}{\sigma} \right], \quad (5)$$

де  $\Phi$  — функція нормального розподілу випадкової величини.

Вирази (1) – (4) формують модель оцінювання якості функціонування системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення.

За критерій оцінювання якості керування запропоновано брати оперативність керування, яка визначається часом на керування під час виконання завдання.

Зазначена модель може бути застосована в разі дискретно-подійної моделі керування, яка забезпечує формування процесів керування станами мережі, що визначаються термінами початку та закінчення кожного підпроцесу з керування ІКМСП.

Визначені в статті властивості СК та структуровані параметри, що забезпечують підтримання цих властивостей, дали можливість сформулювати відповідні математичні вирази, а на їх основі і модель оцінювання якості функціонування системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення.

### Висновки

1. У статті розглянуто питання оцінювання якості функціонування системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення.

З'ясовано, що оцінювання якості функціонування системи керування потребує визначення її властивостей, які впливають із мети функціонування і завдань керування, та структуризації відповідних властивостям параметрів оцінювання.

2. Запропоновано розподіл властивостей системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення та структурізовано відповідні їм параметри оцінювання.

Як властивості системи керування визначено структурні властивості схеми побудови, функціональні властивості процесу керування та функціональні властивості системи керування.

3. Якість функціонування системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення запропоновано оцінювати показником оперативності керування, котрий визначено як здатність системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення виконувати процеси контролю та керування станами мережі в установлені терміни.

4. Для оцінювання якості функціонування системи керування інфокомунікаційною мережею спеціального призначення у статті запропоновано відповідну модель оцінювання.

Зазначена модель дає змогу оцінити якість функціонування системи керування за показником оперативності з огляду на складові процесу керування та математичні сподівання відповідних випадкових величин часових параметрів процесу керування.

#### Список використаної літератури

1. Бурячок В. Л., Аносов А. О., Семко В. В. *Технології забезпечення безпеки мережної інфраструктури: підручник*. Київ: «КУБГ», 2012. 218 с. URL:

[https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/27191/1/VL\\_Buriachok\\_TZBMI.pdf/](https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/27191/1/VL_Buriachok_TZBMI.pdf/)

2. Воробієнко П. П., Нікітюк Л. А., Резніченко П. І. *Телекомунікаційні та інформаційні мережі*. Київ: САММІТ-Книга, 2010. 708 с.

3. Беркман Л., Захаржевський А., Лаврінець К. Удосконалення технології оброблення агрегованого потоку даних захищеної корпоративної мультисервісної мережі зв'язку // *Східно-Європейський журнал підприємницьких технологій*. 2023. №4 (9(124)). С. 14–23. URL:

<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.285414>.

4. Козловський В. В., Туровський О. Л., Кулінський В. Д. Формалізація вимог до системи керування телекомунікаційними мережами // *Проблеми інформатизації та керування*. 2020. Т. 2. №64. С. 41–47.

5. *Сучасні телекомунікації: мережі, технології, економіка, керування, регулювання* / С. О. Довгий, О. Я. Савченко, П. П. Воробієнко [та ін.]. Київ: Український Видавничий Центр, 2002. 520 с.

6. *Новые технологии в телекоммуникации: Планирование сервисных пакетов Интернет-услуг* / С. А. Довгий, О. В. Копейка, С. П. Поленок, А. Е. Стрижак // *Методика бизнес-планирования*. Київ: Укртелеком, 2001. 240 с.

7. *Дослідження когнітивних методів керування інфокомунікаціями в умовах невизначеності* / О. В. Кітура, Л. Н. Беркман, Л. В. Дакова [та ін.] // *Зв'язок*. 2021. №4(152). С. 7–13.

8. *Перспективна структура мультиагентної системи керування транспортною мережею зв'язку на основі технології CARRIER ETHERNET* / О. Туровський, О. Кітура, А. Міщенко [та ін.] // *Наукоємні технології*. 2022. №1 (54). С. 23–34.

9. Хращевський Р., Іванець О., Жарова О. Математична модель прийняття рішень на основі багатопараметричного критерію // *Наукоємні технології*. 2021. №4 (52). С. 365–370.

10. Kitura O., Polonskyi K. *Analysis of the main properties of transport network management systems // ICT infrastructure as a basis for digital economy: ITU Workshop for Europe and CIS Region, Ukraine, Kyiv, 15 December 2021*. P. 61–62.

11. *МСЭ T Recommendation Y.1731: Operation, administration and maintenance (OAM) functions and mechanisms for Ethernet-based networks. Corrigendum 1* // March 2018.

12. Лебеденко Т. М., Головешко М. В., Северілов А. В. Результати експериментального дослідження методу активного керування чергами на інтерфейсах телекомунікаційних мереж // *Проблеми телекомунікацій*. 2019. №2(25). С. 37–55. URL:

<https://doi.org/10.30837/pt.2019.2.03>

A. Zakhazhevskiy

#### FUNCTIONING QUALITY ASSESSMENT MODEL SPECIAL PURPOSE INFORMATION COMMUNICATION NETWORK MANAGEMENT SYSTEMS

The paper deals with the assessment of the quality of the functioning of the special purpose information communication network management system.

It was determined that the evaluation of the quality of the functioning of the management system requires the determination of its properties, which arise from the purpose of operation and management tasks, and the structuring of the evaluation parameters corresponding to the properties. The distribution of properties of the management system of a special purpose information communication

*network is proposed and the corresponding evaluation parameters are structured. Structural properties of the construction scheme, functional properties of the control process and functional properties of the control system are defined as properties of the control system. The quality of the functioning of the management system of the special purpose information communication network is proposed to be evaluated by the management efficiency indicator. Which is defined as the ability of the special purpose information communication network management system to perform processes of control and management of network states within the established time limits.*

*In order to evaluate the quality of the functioning of the management system of the special purpose information communication network, the appropriate evaluation model is proposed in the work. The specified model allows to evaluate the quality of the functioning of the control system according to the efficiency indicator, taking into account the components of the control process and mathematical expectations of the corresponding random values of the time parameters of the control process.*

**Keywords:** control system; information communication network; control efficiency; control system properties; control system parameters.

