

**Сбоєв Р.Ю.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Могилевич Д.І.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ФУНКЦІОНАЛЬНУ СТІЙКІСТЬ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*На сьогоднішній день обладнання електронних комунікаційних мереж складається з двох взаємопов'язаних компонентів. Перший – це апаратна частина, а другий – програмна. Нормальне функціонування кожного з них має велике значення для ефективності мережі в цілому. Стаття присвячена аналізу факторів, що впливають на функціональну стійкість комунікаційного обладнання електронних комунікаційних систем. У статті визначено, що одними з основних понять, які характеризують здатність мережі виконувати свої завдання, є функціональна безпека та функціональна стійкість. Розкрито відмінності понять функціональної безпеки та надійності обладнання. З'ясовано, що функціональна безпека відрізняється від надійності тим, що в надійності розглядаються всі можливі відмови, тоді як функціональна безпека враховує лише ті, які можуть призвести до зриву функціонування певної системи.*

*Показано, що функціональна стійкість в контексті складної технічної системи, до якої відноситься обладнання електронних комунікаційних мереж, поєднує в собі властивості надійності, відмовостійкості, живучості та характеризує здатність об'єкта до підтримання працездатного стану за рахунок використання різних видів надмірності. Також коротко описано кожен з них, при цьому зосереджено увагу саме на часовій надмірності (резервуванні), оскільки електронні комунікаційні мережі є системами реального часу, що накладає ряд обмежень на часові рамки виконання завдань за призначенням цього типу мереж.*

*У статті наведено класифікацію відмов комунікаційного обладнання та розглянуто способи зменшення їх впливу за рахунок використання надлишковості. Доведено необхідність подальших досліджень за наведеним напрямком.*

**Ключові слова:** функціональна стійкість, функціональна безпека, надійність, збої та відмови програмного забезпечення, обладнання електронних комунікаційних мереж.

**Постановка проблеми.** Сучасне обладнання електронних комунікаційних мереж (ОЕКМ) можна представити як складний апаратно-програмний комплекс (АПК), який складається з двох взаємопов'язаних компонентів: апаратного та програмного. Апаратна частина включає в себе різноманітну технічну інфраструктуру, таку як каналоутворююче та кінцеве обладнання, пристрої комутації, маршрутизації, мультиплексування та обладнання лінійних трактів. Програмна частина представляє собою набір програмних засобів (ПЗ), який включає в себе програмне забезпечення вищевказаних апаратних складових, правила і супутню документацію та дані, що стосуються функціонування ОЕКМ.

Водночас для опису показників якості функціонування ОЕКМ користуються термінами «функціональна безпека», «надійність», і «функціональна стійкість», які є взаємопов'язаними і використовуються як в контексті дослідження ОЕКМ загалом, так і системного ПЗ цих мереж, зокрема,

оскільки вони описують здатність системи залишатися працездатною і виконувати свої функції під впливом негативних чинників.

Основна відмінність між функціональною безпекою і надійністю полягає в тому, що надійність враховує всі можливі відмови, тоді як функціональна безпека стосується лише тих відмов, які можуть призвести до критичних збитків, що впливають на безпеку системи та втрату інформації користувачів, іноді навіть на самого користувача. Функціональна стійкість – більш комплексне поняття, яке включає в себе поняття надійності, живучості та відмовостійкості.

Для оцінювання ФС апаратної складової на теперішній час сформовано доволі широкий набір методів та інструментів. У той же час значення програмної складової поступово зростає внаслідок розвитку техніки й вимог до неї, і, відповідно, зросла складність і вразливість ПЗ внаслідок під дією зовнішніх і внутрішніх негативних впливів. Тепер постає завдання подальших досліджень

функціональної стійкості саме ПЗ ОЕKM за рахунок пристосування для цього наявних методів теорії надійності.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Уперше поняття функціональної стійкості було введено професором Машковим О.А. та розширено в низці робіт вітчизняних авторів [1–5]. Саме в них сформовано основні принципи досягнення ФС складних технічних систем.

**Метою статті** є аналіз факторів, що впливають на функціональну стійкість ОЕKM.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Під функціональною стійкістю розуміють здатність системи виконувати свої функції впродовж заданого інтервалу часу за умови впливу на неї потоку експлуатаційних відмов, навмисних пошкоджень, втручання в обмін і обробку інформації, а також у разі помилок обслуговуючого персоналу [5].

Функціональна стійкість відноситься до власливості системи або ПЗ залишатися працездатною та виконувати свої функції незалежно від різних внутрішніх або зовнішніх впливів, таких як помилки в роботі, несправності обладнання, збої в програмах або кібератаки. Вона може бути досягнутою навіть за умови відмови якоїсь частини обладнання чи складової, головне – збереження працездатності системи й виконання неб задач за призначенням.

Функціональна стійкість є важливою характеристикою для багатьох систем, особливо для систем реального часу, які використовуються в критичних галузях, таких як медицина, фінанси, електронні комунікації й авіація.

Основна мета функціональної стійкості полягає в тому, щоб забезпечити, нормальний режим роботи системи, навіть якщо в ній виникають проблеми або під дією атаки, при цьому вона може автоматично або з мінімальним втручанням відновлювати свою роботу у випадку збоїв і відмов.

Водночас, зміни у якісному складі ОЕKM закономірно призводять до зміни вимог до функціонування системи зв'язку та елементів (вузлів зв'язку), що входять до її складу. Подібні зміни обумовлені такими факторами:

1) збільшенням обсягів інформації, що циркулює в системі зв'язку, викликане застосуванням сучасних багатофункціональних засобів її добування, обробки, передачі та зберігання;

2) скороченням часу на передачу та обробку інформації (до інформаційного обміну в масштабі реального часу), обумовленого необхідністю скорочення циклів управління для прийняття випе-

реджувальних рішень (особливо це стосується спеціальних ЕKM);

3) широким використанням посадовими особами пунктів управління автоматизованих систем управління та підсистем підтримки прийняття рішень, що зумовлюють необхідність конвергенції послуг електрозв'язку (мовлення, даних, мультимедіа).

При цьому перелік факторів, що впливають на ОЕKM доповнюються новими.

Відповідно, фактори, що впливають на функціональну стійкість системи або ПЗ систем, можна класифікувати на кілька категорій (рис. 1), які будуть розглянуті нижче.

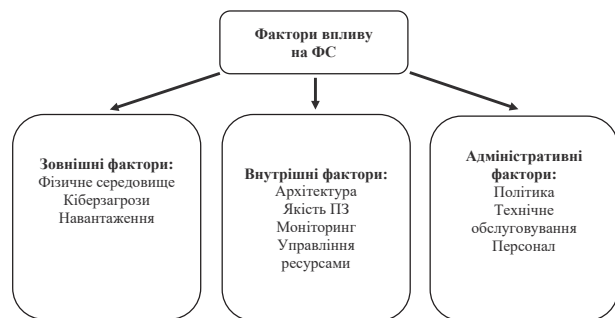


Рис. 1. Фактори, що впливають на ФС

### 1. Внутрішні фактори.

- Архітектурні рішення: якість архітектури системи, включаючи розподілену архітектуру, забезпечення резервного копіювання та обробку помилок.

- Якість програмного забезпечення: якість коду, тестування, виявлення та виправлення помилок. Найбільш поширеним, та, відповідно, таким, що здійснює найбільший вплив (серед внутрішніх факторів) на ФС в електронних комунікаційних мережах є системне ПЗ обладнання, яке здійснює керуванням конкретним апаратним засобом, тому основну увагу необхідно приділяти ФС саме цієї складової. Також збитки від дефектів та помилок системного ПЗ можуть мати кумулятивний характер та проявлятися у певних відмовних ситуаціях, які впливають на надійність, і на ФС, відповідно.

- Моніторинг та логування: системи для відстеження стану системи та реєстрації подій та помилок.

- Конфігурація та управління ресурсами: ефективне управління ресурсами, такими як пам'ять, процесор та мережа.

### 2. Зовнішні фактори.

- Фізичне середовище: вплив фізичного середовища на обладнання, такий як перепади напруги, перепади температури, природні ката-

строфи, вогневе ураження, радіо-електронна боротьба тощо.

- Кіберзагрози: атаки на систему, такі як віруси, хакерські атаки, витік даних тощо.

- Навантаження: завантаження системи внаслідок зростання об'єму даних, які в ній циркулюють, що може призвести до перевантаження та зниження продуктивності.

3. До окремого виду належать адміністративні фактори, які поєднують в собі ознаки внутрішніх та зовнішніх.

- Політики та процедури: встановлені політики та процедури забезпечення безпеки та стійкості.

- Технічна підтримка та технічне обслуговування: якість технічної підтримки та відповідь на інциденти.

- Навчання та підготовка персоналу: навчання та підготовка персоналу для ефективного управління та відновлення системи.

Кожна з цих категорій факторів може впливати на ФС ПЗ ОЕKM та системи в цілому, і їх врахування при проектуванні, впровадженні та управлінні системою може допомогти забезпечити її безвідмовну роботу в різних умовах.

Для розуміння поняття ФС необхідно також розрізняти поняття «збій» і «відмова».

Згідно з [6] збій – самоусувна відмова або одноразова відмова, яку незначним втручанням усуває оператор. Тобто при його виникненні працездатний стан об'єкту зберігається.

Відмова ж – це подія, яка полягає у втраті об'єктом здатності виконувати потрібну функцію, тобто у порушенні працездатного стану об'єкта.

Існує також певна класифікація відмов [7]. Небезпечні відмови – призводять до втрати ФБ системи та/або до втрати її безпечного стану. Безпечні – призводять до помилкового відключення виходу і зупинки контрольованого технологічного процесу (помилкове спрацювання) (рис. 2).

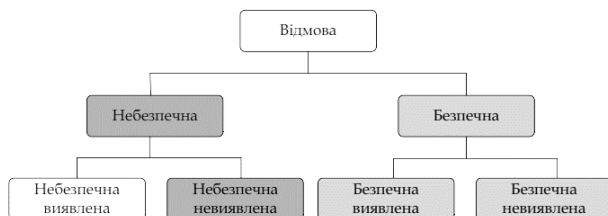


Рис. 2. Класифікація відмов

З точки зору надійності розглядаються всі вищезгадані типи відмов, з точки зору ФБ – тільки небезпечні невиявлені відмови. Оскільки надійність входить до поняття ФС, то необхідно врахувати усі види відмов.

Принципи реалізації функціональної стійкості систем, які вперше були виокремлені в роботах професора Машкова О.А. [1, 2, 4] полягають у виконанні наступних процедур:

- виявлення нештатної (відмовної) ситуації, пов'язаної з погіршенням якості функціонування внаслідок впливу дестабілізуючих чинників;

- ідентифікація нештатної ситуації;

- ухвалення рішення про відновлення процесу функціонування;

- парировання нештатної ситуації (відновлення функціонування) методом перерозподілу функцій і завдань між неушкодженими елементами).

Останній принцип досягається застосуванням у складній технічній системі (ЕКМ у тому числі) різних, уже існуючих видів надмірності (структурної, часової, інформаційної, функціональної, навантажувальної тощо) шляхом їх перерозподілу.

Тож надмірність в СЕКМ можна розділити на декілька видів, наведених нижче.

1. Структурна надмірність – включає в себе резервування компонентів системи (наприклад, серверів, комутаторів, мережевих ліній) з метою забезпечення надійності та ФС. Кожна сучасна СЕКМ будується за принципом резервування «1+1».

2. Часова надмірність (часовий резерв) – забезпечується наявністю достатнього часового проміжку для виконання операцій чи передачі даних. Є особливо важливою для систем, які мають строгі вимоги до часу виконання, тобто систем реального часу, таких як СЕКМ.

Систему з часовим резервуванням можна представити як сукупність вихідного об'єкта та резерву часу (рис. 3), при цьому резерв часу використовується після відмови об'єкта, для її компенсації.

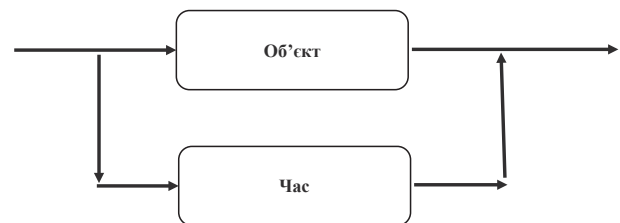


Рис. 3. Структура системи з часовим резервуванням

Резерв часу може бути використаний для відновлення працездатності об'єкта (системи) таким чином:

- перемиканням структурного резерву;
- шляхом виявлення елемента, що відмовив, і його заміни;

- повторним виконанням завдання.
- Резерв часу може створюватися за рахунок:
- збільшення виділеного оперативного часу;
  - збільшення продуктивності системи та її окремих пристроїв;
  - функціональної інерційності процесів, що протікають у системі (відмова елемента системи управління не відразу призведе до відмови в роботі керованого об'єкта).

Також існують системи з відновлюваним резервом часу, не відновлюваним резервом часу та з комбінованим резервом часу.

Резервування часу часто використовується для підвищення ефективності інших видів резервування і є передумовою застосування цих видів резервування.

3. Інформаційна надмірність – застосування завадостійкого кодування, яке забезпечує виявлення і виправлення помилок певного порядку, що забезпечує достовірну та своєчасну передачу даних через СЕКМ. Адже сутність будь-якого завадостійкого коду, без якого зараз неможливо уявити функціонування мережі зв'язку, полягає в додаванні додаткових перевірюваних символів.

4. Функціональна надмірність – наявність додаткових функцій або можливостей в системі, які можуть бути активовані в разі потреби. Наприклад, мережі можуть мати можливість активувати додаткові брандмауери або VPN-з'єднання в разі збільшення обсягу трафіку або збільшення рівня загрози.

5. Навантажувальна надмірність – включає в себе резервну потужність і ресурси, які можуть бути використані в разі зростання навантаження на систему. Наприклад, дата-центри можуть мати додаткові сервери, які можна активувати під час періодів підвищеного навантаження.

Відповідно, для забезпечення ФС немає потреби в формуванні додаткових видів надмірності, а в сформуванні системи управління, яка здатна вчасно перерозподілити існуючі надмірності.

Фактично, функціональна стійкість складної системи може розглядатися, як властивість системи успішно завершити завдання при регламентованому числі змін у стані самої системи, тобто збереження її працездатності після прояву в ній допустимого числа збоїв (або відмов складової частини) та впливу зовнішніх негативних чинників.

При цьому на етапі проектування не потрібно вводити додаткову надмірність, а парирування наслідків позаштатних ситуацій здійснюється перерозподілом вже існуючих ресурсів. Задача полягає саме у виявленні існуючої надмірності та формуванні сигналів у потрібний момент на її перерозподіл. У цьому полягає принципова відмінність завдання забезпечення ФС від завдання побудови структурно надлишкових систем.

Також важливою особливістю функціонально стійких систем є їх здатність до поступової деградації на структурному рівні безпосередньо до повної відмови системи. Тобто така система почергово виключає із своєї структури елементи, які відмовили, одночасно перебудовує структуру, налаштовує параметри для пристосування до нових (більш обмежених) умов експлуатації.

**Висновки.** Отже однією з основних характеристик сучасних складних технічних систем (ЕКМ у тому числі) є функціональна стійкість – комплексне поняття, яке характеризує здатність системи залишатися працездатною під дією зовнішніх та внутрішніх факторів, що можуть призводити до збоїв та відмов. Її сутність полягає у здатності виконувати хоча б встановлений мінімальний обсяг своїх функцій при відмовах в програмній та (або) апаратній частинах ОЕКМ, а також впливів зовнішніх впливів, які передбачені умовами використання.

Функціональна стійкість досягається за рахунок використання різних видів надмірностей. Як наслідок мають бути сформовані відповідні методи й заходи компенсування нештатних ситуацій та перерозподілу надмірностей, які забезпечать ФС ОЕКМ.

#### Список літератури:

1. Артющин Л. М., Машков О. В., Сівов М. С. Теорія автоматичного керування. К.: КІВПС, 2000, 320 с.
2. Оцінка функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем. Олег Машков, Олег Барабаш. Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології, 2005, Вип.1, 157-163.
3. Барабаш О. В., Кравченко Ю. В. Функціональна стійкість — властивість складних технічних систем. Зб. наук. пр. НАОУ. Бюл. № 40. К.: НАОУ, 2002, с. 225-229.
4. Дурняк Б. В., Машков О. А., Косенко В. Р. Програмне забезпечення для математичного моделювання функціонально стійких інформаційно-керуючих комплексів динамічних об'єктів. Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць. Київ: ПІМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України, 2010. Вип. 57. С. 201–217.
5. Функціональна стійкість інформаційних мереж за наявності обмеженої апріорної інформації про надійність, С. М. Іщеряков, С. В. Прокопов, Ю. В. Каргаполов, Ю. В. Березовська. Зв'язок, № 6, 2020, ISSN 2412-907, DOI: 10.31673/2412-9070.2020.069966.

6. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1994. 36 с. URL: [https://dnaop.com/html/2273/doc\\_ДСТУ\\_2860-94](https://dnaop.com/html/2273/doc_ДСТУ_2860-94).
7. Є. Бабешко, О. Ілляшенко та В. Харченко. Функційна безпека індустріальних систем Стандарт ІЕС 61508, Київ, 2019. URL: <https://tk185.appau.org.ua/whitepapers/aCampus-whitepaper-IEC-61508+++pdf>.

**Sboiev R.Yu., Mogylevych D.I. ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE FUNCTIONAL STABILITY OF ELECTRONIC COMMUNICATION SYSTEM EQUIPMENT**

*Today, the equipment of electronic communication networks consists of two interconnected components. The first is the hardware part, and the second is the software part. The normal functioning of each of them is of great importance for the efficiency of the network as a whole. The article is devoted to the analysis of factors affecting the functional stability of communication equipment of electronic communication systems. The article defines that one of the main concepts characterizing the network's ability to perform its tasks is functional security and functional stability. The differences between the concepts of functional safety and equipment reliability are revealed. It was found that functional safety differs from reliability in that reliability considers all possible failures, while functional safety takes into account only those that can lead to the failure of a certain system.*

*It is shown that functional stability in the context of a complex technical system, which includes the equipment of electronic communication networks, combines the properties of reliability, failure resistance, survivability and characterizes the ability of the object to maintain an operational state due to the use of various types of redundancy. Each of them is also briefly described, while the focus is on time redundancy (redundancy), since electronic communication networks are real-time systems, which imposes a number of restrictions on the time frames for performing tasks for the purpose of this type of network.*

*The article provides a classification of communication equipment failures and considers methods of reducing their impact through the use of redundancy. The need for further research in this direction has been proven.*

**Key words:** *functional stability, functional safety, reliability, failures and failures of software, equipment of electronic communication networks.*