

УДК 623.618.5:007.2

**Р.В. Грищук,**

доктор технічних наук, старший науковий співробітник,

**Р.В. Дзюбчук,**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

**А.О. Сердюк**

## ГРАФОВИЙ СПОСІБ ОЦІНЮВАННЯ ЖИВУЧОСТІ СИСТЕМ РАДІОМОНІТОРИНГУ

*У статті розкрито сутність та зміст процедур оцінювання живучості систем радіомоніторингу. Обґрунтовано доцільність застосування теорії графів для подання систем радіомоніторингу графовими моделями. Розроблено відповідний спосіб оцінювання живучості систем радіомоніторингу та тестове програмно-алгоритмічне забезпечення. Наведено модельний приклад для демонстрації можливостей розробленого способу.*

**Ключові слова:** система радіомоніторингу, живучість, графова модель, процедура оцінювання живучості.

*В статье раскрыты сущность и содержание процедур оценивания живучести систем радиомониторинга. Обосновано целесообразность использования теории графов для подачи систем радиомониторинга графовыми моделями. Разработан соответствующий способ оценивания живучести систем радиомониторинга и тестовое программно-алгоритмическое обеспечение. Рассмотрен модельный пример для демонстрации возможностей разработанного способа.*

**Ключевые слова:** система радиомониторинга, живучесть, графовая модель, процедура оценивания живучести.

*Paper reveals the essence and contents of radiomonitoring systems survivability evaluation procedures. Paper proves an effectuality of the graph theory implementation for the representing of radiomonitoring systems through graph models. An appropriate way of the evaluation of radiomonitoring systems survivability and software for tests are developed. An example for demonstration of new method's capabilities is given.*

**Keywords:** radiomonitoring system, survivability, graph model, evaluation procedure.

Системи радіомоніторингу (СР) відіграють одну з ключових ролей при добуванні інформації від різномісних джерел радіовипромінювання [1, 2]. Також відомо, що в умовах динамічної зміни радіоелектронної обстановки деструктивні впливи штучного та природного характеру на роботу СР, призводять до порушення технологічних процесів обміну інформаційними потоками між складовими підсистеми і, як наслідок, впливають на якість рішень, що приймаються. Тому забезпечення живучості СР в умовах, що складуються, є пріоритетним напрямом забезпечення стійкості роботи системи в кризових ситуаціях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав [3–8], що в сучасних складних інформаційно-технічних системах, як правило, впроваджуються засоби забезпечення живучості. Для таких систем в умовах деструктивних штучних та природних впливів

відмови, які можуть виникати, не призводять до виходу з ладу всієї системи, а усунення несправності здійснюється автоматично. Крім того, реалізація в зазначених системах механізмів функціональної стійкості [9, 10] забезпечує реалізацію процедур вибору оптимальних режимів функціонування за рахунок перерозподілу або переконфігурації власних внутрішніх ресурсів, які здатні змінювати функції та поведінку окремих підсистем. При цьому, включення того чи іншого механізму функціональної стійкості повинно здійснюватися на основі поточних оцінок рівня живучості системи.

Відомі на сьогодні підходи до оцінювання живучості інформаційних систем [3–9] реалізують процедури оцінювання як функціональної, так і структурної живучості. Але в них не враховуються специфічні особливості, які притаманні такому спеціалізованому класу інформаційних систем, як СР, тому теорія оцінювання живучості СР потребує подальшого дослідження.

*Метою статті* є подальший розвиток методологічної бази в інтересах оцінювання живучості СР.

На першому етапі дослідження живучості СР необхідно побудувати її модель. При цьому слід врахувати ряд специфічних особливостей СР. Основними з них є [1, 11]: СР є складною багаторівневою ієрархічною територіально розподіленою структурою з достатньо великою кількістю керуючих та керованих підсистем; специфіка обслуговування зон відповідальності підсистем СР обумовлена як факторами природнього характеру, так і технічними можливостями самої системи; робота СР здійснюється в умовах апріорної невизначеності як щодо кількості добутої інформації, так і щодо якості її обробки; СР може піддаватися впливу негативних факторів як природнього, так і штучного характеру. Як наслідок, зменшується ефективність СР та виходять з ладу не тільки окремі елементи підсистем СР, а й підсистеми в цілому.

Відомо, що для оцінювання живучості складних інформаційних систем сьогодні широко використовуються графові моделі [3]. За графового підходу до оцінювання живучості інформаційної системи сукупність її підсистем подають у вигляді вершин графа, а ребрами графа відображають зв'язки між складовими підсистемами СР. При цьому вузли графа – це приймачі або джерела інформаційних потоків, які виконують функції збору та (або) обробки інформації. Сукупність ребер, які потрібно пройти інформаційному потоку з вершини  $\alpha_i$  у вершину  $\alpha_j$ , називають шляхом  $(\alpha_i, \alpha_j)$ . При цьому якщо для будь-яких двох вершин існує шлях  $[(\alpha_i, \alpha_j)]$  то граф називається зв'язаним, в іншому випадку – незв'язним. Прив'язуючись до СР граф, який відображає її структуру, в загальному випадку має бути неорієнтованим, оскільки в системі, яка досліджується, циркулюють як спрямовані інформаційні потоки, так і керуючі впливи. Таким чином, з урахуванням зазначеного вище підходу СР доцільно подати у вигляді графа – мережевою моделлю, вузли якої – це організаційно-технічні підсистеми (комплекси програмно-апаратних засобів, кадрові ресурси тощо), ребра – канали зв'язку (дротові, бездротові, комбіновані). Так кожен з вузлів мережі має обмежені ресурси, що можуть бути використані ним для виконання визначеного для нього переліку завдань, а кожна дуга в графі характеризується деяким показником – пропускною спроможністю. Тоді структура СР у загальному вигляді може бути подана графовою моделлю (рис. 1).

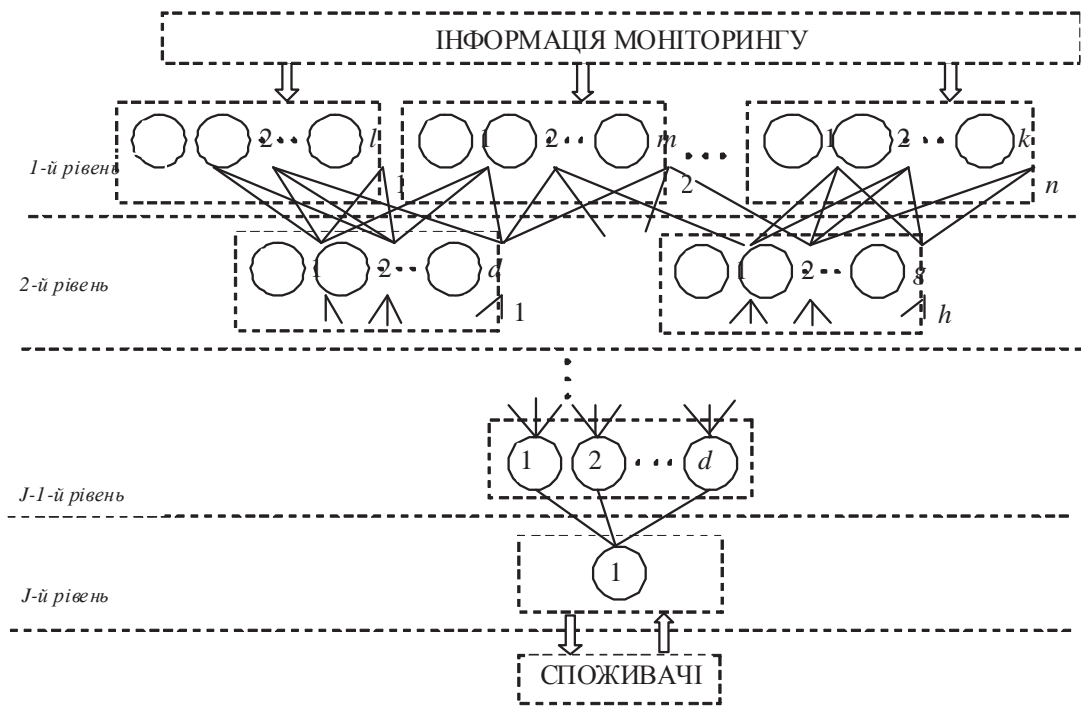


Рис. 1. Узагальнена графова модель багаторівневої системи моніторингу

На рис. 1 взято такі позначення:  $1, 2, \dots, n$  – підсистеми добування інформації;  $l, m, k$  – кількість складових елементів підсистем добування інформації, в загальному випадку  $l \neq m \neq k$ ;  $1, 2, \dots, h$  – підсистеми первинної обробки інформації;  $d, g$  – кількість складових елементів підсистем первинної обробки інформації;  $J$  – кількість ієрархічних рівнів СР.

Нехай кожна  $i$ -та підсистема нижнього рівня ієрархії має канали зв'язку з підсистемами вищого рівня ієрархії та характеризується показником обсягу інформації, що добувається (обробляється)  $I$ . Крім того, кожен канал зв'язку між різними рівнями ієрархії СР має свою пропускну здатність. Виходячи з прийнятих позначень та припущень, завдання СР у формалізованому вигляді може бути визначене як екстремізація деякого функціоналу

$$\Phi(l, m, k, n, q, h, d, \dots, l_{ij}) \rightarrow \max \quad (1)$$

Визначимо кожній вершині і кожному ребру графа (див. рис. 1) деякі ваги відповідно, де  $\alpha_{ij}$  – коефіцієнт ефективності роботи одиничного елемента підсистеми (добування або обробки інформації),  $0 \leq \alpha_{ij} \leq 1$ ,  $\beta_{ij}$  – коефіцієнт ефективності передачі інформації каналом зв'язку від вершини  $\alpha_{ij}$  до вищого ієрархічного рівня,  $0 \leq \beta_{ij} \leq 1$ ,  $i$  – номер елемента підсистеми добування (обробки) інформації,  $j$  – ієрархічний рівень. При цьому, якщо  $\alpha_i = 0$  інформацію не оброблено (не добуто), а при  $\alpha_i = 1$  вся інформація оброблена повністю або оператор добув максимально можливу кількість інформації. Якщо  $\beta_{ij} = 0$ , то між вузлами  $i$  та  $j$  підсистеми канал зв'язку відсутній, а при  $\beta_{ij} = 1$  весь інформаційний потік передається без втрат.

Для спрощення подальших викладок розглянемо трирівневу СР, яка має в своєму складі  $N$  елементів підсистеми добування інформації та  $H$  елементів

підсистеми обробки інформації. Спираючись на узагальнену графову модель СР (див. рис. 1) та прийнятих припущень згідно до обраного функціоналу (1), сутність оцінювання живучості СР  $G$  зводиться до такого

$$G = \alpha_{11}P_{\alpha_{11}}\beta_{11}P_{\beta_{11}}\alpha_{12}P_{\alpha_{12}}\beta_{12}P_{\beta_{12}} + \alpha_{21}P_{\alpha_{21}}\beta_{21}P_{\beta_{21}}\alpha_{12}P_{\alpha_{12}}\beta_{12}P_{\beta_{12}} + \dots + \alpha_{N1}P_{\alpha_{N1}}\beta_{N1}P_{\beta_{N1}}\alpha_{H2}P_{\alpha_{H2}}\beta_{H2}P_{\beta_{H2}}$$

де – ймовірності збереження функціональності елементами підсистем та каналів зв'язку між ними при дії деструктивних факторів відповідно.

Вираз (2), на відміну від відомих, відкриває можливості з оцінювання впливу структурних елементів СР на рівень ефективності її функціонування та забезпечує знаходження тих з них, вихід з ладу яких є критичним для її живучості.

Розглянемо модельний приклад. Нехай модель СР представлена у вигляді ієрархічного графового дерева, що має у своєму складі 7 вершин та 7 ребер (рис. 2). Модель має трирівневу структуру, що відповідає етапності оброблення інформації моніторингу.

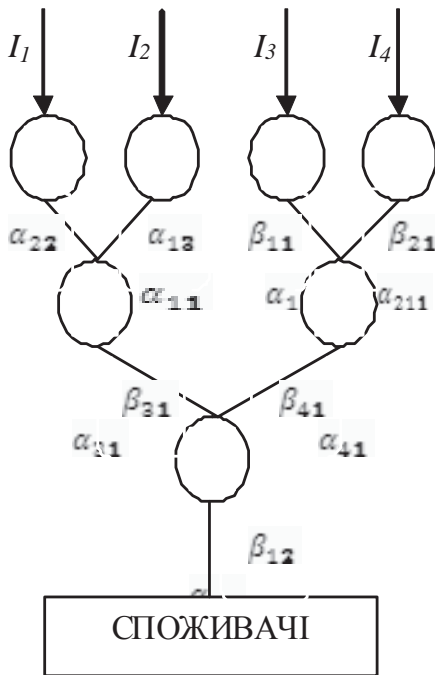


Рис. 2 Спрощена модель СР

Так на першому рівні (етап первинної обробки) у вершинах  $\alpha_{11}$ ,  $\alpha_{21}$ ,  $\alpha_{31}$ ,  $\alpha_{41}$ , що відповідають елементам підсистеми добування, здійснюється первинна обробка інформації моніторингу, що надходить від відповідних джерел  $I_1, I_2, I_3, I_4$ . Зміст первинної обробки полягає в функціональних перетвореннях вхідних інформаційних потоків на основі яких формуються оцінки інформативних параметрів сигналів. Базовими операціями при цьому є: виявлення; попередня селекція сигналів за різними параметрами; нормування за рівнем вхідного потоку процесів; одержання оцінок енергетичних і неенергетичних параметрів сигналів; приведення вихідної інформації до вигляду, зручному для її подальшої обробки та передачі лініями зв'язку тощо.

Інформаційний потік каналами зв'язку яким присвоєно ваги  $\beta_{11}, \beta_{21}, \beta_{31}$  та  $\beta_{41}$ , та (див. рис. 2) після первинної обробки надходить на вхід елементів підсистеми оброблення  $\alpha_{12}$  та  $\alpha_{21}$ , де здійснюється його вторинна обробка. При цьому особливість

вторинної обробки проявляється в тім, що при вторинній обробці використовуються не статистичні відмінності радіосигналів від джерел радіомоніторингу та завад, а статистичні характеристики часового потоку оцінок інформаційних параметрів сигналів [1, 11]. Також інформація, яку одержано в результаті вторинної обробки в одному з елементів підсистеми, може використовуватися спільно з інформацією від інших просторово рознесених елементів підсистеми для вирішення додаткових завдань моніторингу [1, 11]. Після завершення вторинної обробки інформаційний потік лініями зв'язку яким присвоєно відповідні ваги  $\beta_{12}$  та  $\beta_{22}$  надходить на останній рівень обробки.

На третьому етапі обробки, на відміну від двох попередніх, використовуються статистичні характеристики просторово-часового потоку оцінок інформативних параметрів сигналів, а інформаційний потік, що надійшов від елементів підсистеми вторинної обробки інформації, надходить на єдиний вузол  $\alpha_{13}$ , де відбувається

акумуляція та узагальнення всіх інформаційних потоків. На заключення, остаточно оброблена інформація лінією зв'язку, вага якої  $\beta_{13}$ , надходить до визначених споживачів.

З практики відомо [11], що споживачі інформації через відповідні органи управління СР здійснюють зворотний вплив на елементи підсистем добування та обробки інформації. Зважаючи на різноманіття можливостей з організації зворотного зв'язку, у даному дослідженні питання порушення функціонування СР через порушення системи управління не розглядається.

В основу графового способу оцінювання живучості СР покладено вираз (2) на базі якого розроблено відповідний алгоритм (рис. 3). Перевагою розробленого алгоритму є те, що його застосування на практиці дозволяє оцінювати функціонування СР за різних умов експлуатації: ідеальних, при некритичних деструктивних впливах та при критичних деструктивних впливах (рис. 3). При цьому вирішення завдання з оцінювання структурної живучості СР виконується зазвичай при деяких припущеннях, врахування яких забезпечує зведення задачі аналізу графу до типових задач аналізу зв'язності графу, оцінки ймовірності існування в графі необхідних структур, оцінки ймовірності формування працездатної структури при деструктивних впливах тощо.

Ідеальними умовами функціонування СР вважатимемо умови, за яких усі підсистеми на всіх рівнях у повному обсязі виконують визначені для них завдання. При цьому ті негативні впливи, які можуть мати місце не несуть для системи загрози її функціонуванню. Як наслідок ймовірності збереження

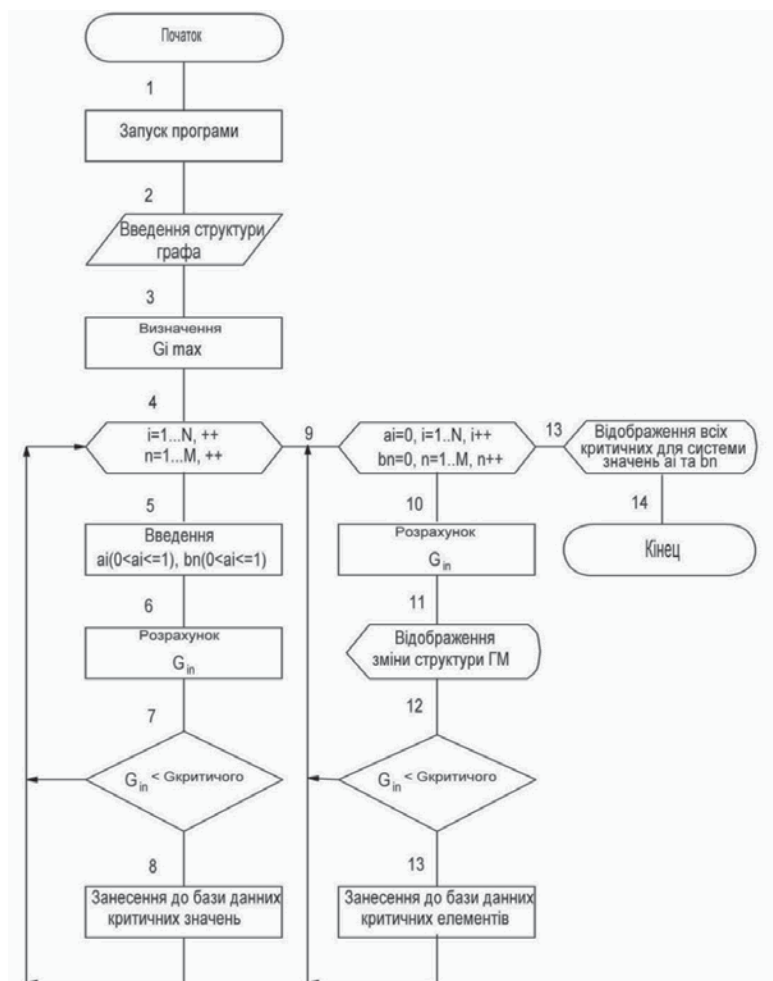


Рис. 3 Алгоритм оцінювання рівня живучості СР



функціональності елементами підсистем та каналів зв'язку є рівними та такими що дорівнюють одиниці, тобто .

Коли має місце деструктивний вплив на СР, система продовжує функціонування, але зі зниженими показниками ефективності. У такому разі матимуть місце позаштатні ситуації, такі, як зменшення ресурсоємності деяких вузлів мережевої моделі, вилучення з мережевої моделі деяких дуг або зменшення їх пропускних спроможностей тощо.

Останньою розглянемо ситуацію, яка є критичною з точки зору функціонування системи. Так у разі одержання пошкоджень в результаті дії деструктивних впливів, система втрачає свою працездатність, а робочі параметри виходять за межі розрахункових значень. У цьому разі важливо передбачити можливість підключення резервних елементів або переконфігурації інформаційних потоків між підсистемами, тобто задіяти механізми адаптації та забезпечення функціональної стійкості.

З метою перевірки достовірності розробленого способу та роботоспроможності розробленого на його основі алгоритму, в роботі було створено спеціалізоване програмне забезпечення, інтерфейс якого приведено на рис. 4.



Рис. 4. Інтерфейс спеціалізованого програмного забезпечення оцінювання живучості СР графовим способом

Спеціалізоване програмне забезпечення забезпечує візуальне відображення графової структури СР, дозволяє ситуативно варіювати вагами вершин  $\alpha_i$  та вагами ребер  $\beta_i$  графа, реалізує можливості щодо адаптивного ввімкнення/вимкнення та, при цьому, гарантує одержання кількісних та якісних оцінок живучості системи на основі розробленої в [12] шкали живучості.

**Висновки.** Таким чином, у результаті проведеного дослідження набув подальшого розвитку спосіб оцінювання живучості СР в основу якого покладено методи теорії графів, що дозволило подати розподілену багаторівневу СР графовою

моделлю, й звести задачу з оцінювання живучості системи до задачі оцінювання елементів графу. Приведений модельний приклад та розроблений алгоритм підтвердили достовірність одержуваних за розробленим способом оцінок живучості СР за різних умов їх функціонування. Основними перевагами розробленого способу, порівняно з аналогами, є його наочність та простота в реалізації. Спосіб забезпечує визначення критичних, з позицій живучості, підсистем та дозволяє спрогнозувати потребу в їх подальшій заміні або резервуванні.

Перспективою подальших досліджень є розширення можливостей спеціалізованого програмного забезпечення оцінювання живучості СР на основі розробленого графового способу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Ступаков В.С.* Основи радіочастотного контролю / В. С. Ступаков, С.О. Долматов. – К. : Український державний центр радіочастот, 2004. – 243 с.
2. *Грищук Р.В.* Показники розвід захищеності спеціальних систем зв'язку / Р.В. Грищук, І.В. Пискун, В.О. Хорошко // Труды університету. – К. : НУОУ, 2012. – № 1 (107). – С. 133–140.
3. *Додонов А.Г.* Живучесть информационных систем / А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ. – К. : Наук. думка, 2011. – 256 с.
4. *Черкесов Г.Н.* Методы и модели оценки живучести сложных систем / Г.Н. Черкесов. – М. : Знание, 1987. – 32 с.
5. *Деева В.С.* Устойчивость энтропийной живучести систем / В.С. Деева, С.А. Романишина // Молодёжь и наука: Матер. VIII Всерос. научно-техн. конф., посвящённой 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского. – Красноярск, 19–27 апреля 2012 года. – Красноярск: Сибирский федеральный университет (СФУ), 2012. – С. 120–123.
6. *Флейтман Д.В.* Методи та засоби забезпечення живучості інформаційних систем : автореф. дис. канд. техн. наук / Д.В. Флейтман; НАН України. Ін-т пробл. моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова. – К., 2007. – 20 с.
7. *Стекольников Ю.И.* Живучесть систем. Теоретические основы / Ю.И. Стекольников. – СПб. : Политехника, 2002. – 168 с.
8. Синтез и анализ живучести сетевых систем: монографія / Ю.Ю. Громов, В.О. Драчев, К.А. Набатов, О.Г. Иванова. – М. : Изд-во Машиностроение-1, 2007. – 152 с.
9. *Машков О.А.* Функціонально-стійка система попередження та запобігання авіаційних пригод з використанням кількісної оцінки і прогнозування небезпеки / О.А. Машков, В.П. Юньов. – К., АКАУ, 2003. – 185 с.
10. *Барабаш О.В.* Понятійний апарат функціональної стійкості розподілених інформаційно-керуючих систем / О.В. Барабаш, С.В. Козелков, О.А. Машков // Зб. наук. праць НЦВПС ЗС України. – 2005. – Вип. 7. – С. 87–95.
11. *Рембовский А.М.* Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А.М. Рембовский, А.В. Ашихмин, В.А. Козьмин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Горячая Линия-Телеком, 2010. – 624 с.
12. *Грищук Р.В.* Синтез систем інформаційної безпеки за заданими властивостями / Р.В. Грищук // Вісник національного університету “Львівська політехніка”. Серія : Автоматика, вимірювання та керування : зб. наук. пр. – Львів : ЛП, 2012. – № 741. – С. 271–276.