

УДК 621.391

О.Г. Жук

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ

## КОНЦЕПЦІЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ВІЙСЬКОВИХ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

В роботі запропонована нова наукова концепція, за допомогою якої здійснюється організація взаємодії і узгодження моделей елементів військових систем радіозв'язку.

**Ключові слова:** система радіозв'язку, графова модель, системне рішення, радіоелектронне подавлення, навмисні завади.

### Вступ

Сучасні військові системи радіозв'язку (ВСРЗ) являють собою складні системи розподіленою багатозв'язною структурою, в яких використовується весь комплекс існуючих технологій передачі інформації та різні комбінації каналів зв'язку, а також комунікаційне і технологічне обладнання [1 – 4]. Крім того, ВСРЗ повинні функціонувати в умовах складної радіоелектронної обстановки при впливі селективних завмирань, комплексу природних та навмисних завад [5 – 7].

На сьогоднішній день немає налагодженої, універсальної, єдиної методології, за допомогою якої, можна провести весь комплекс заходів по моделюванню, створенню і адаптації таких систем. Відсутність методології призводить до виникнення найрізноманітніших підходів до їх реалізації, які базуються на інтуїції й досвіді розроблювачів, при цьому використовується безліч технологій побудови, стандартів, різних методик і моделей, що призводить до зростання вартості системи. Аналіз відомих методів та методик [8–11] показав, що в них недостатньо розкриті питання взаємодії окремих елементів ВСРЗ при синтезі системи в цілому.

Тому *метою статті* є розробка наукової концепції організації взаємодії елементів військової системи радіозв'язку.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Створення і адаптація ВСРЗ пов'язані з оптимізацією й прийняттям рішень, як на рівні окремих часткових завдань, так і для всієї системи в цілому. Основну увагу тут варто зосередити на виборі альтернативних системних рішень, механізмів їх реалізації та визначенні найбільш ефективного або базового варіанта системи. Отже, потрібні методи, які дозволяли б уже на самих ранніх етапах створення і адаптації ВСРЗ досить правильно вибрати їх параметри та структуру, а також оцінювати різні характеристики якості, з тим, що б одержати системне рішення, яке не потребує серйозних змін у майбутньому.

Проблеми створення і адаптації ВСРЗ багато в чому схожі, тому адаптацію існуючих систем доцільно проводити на основі багатоваріантного синтезу системних рішень з врахуванням уже наявної системи та умов, що змінюються, відповідно до принципів модульності та стандартизації [9, 12, 13].

Процес багатоваріантного синтезу концептуального системного рішення подано на рис. 1.

Реалізація моделюючого комплексу запропонована на основі багаторівневого подання ВСРЗ – ієрархічної системи декількох взаємодіючих рівнів, які відповідають певному класу практичних завдань створення і адаптації з урахуванням критеріїв оцінки якості. В базі еталонних моделей представлені моделі і параметри ВСРЗ по кожному рівні ієрархії, а також необхідна довідкова інформація. Крім того, база містить мережні рішення та наявні наробітки в даній області.

Найбільш важливим є модуль організації взаємодії моделей елементів ВСРЗ. Його функціональне призначення – організація роботи модуля аналізу параметрів і моделей, розрахункового модуля, оцінка точності та калібрування моделей. В ньому реалізуються процеси організації взаємодії моделей мережних елементів. Проводиться аналіз характеристик моделей, аналіз і узгодження одиниць виміру вхідних і вихідних параметрів моделей елементів системи в процесі рішення кожного конкретного завдання при розробці варіантів ВСРЗ. Аналіз всієї системи на основі ієрархічного комплексу здійснюється за допомогою графової моделі.

Функціональне призначення модуля аналізу параметрів і моделей – визначення необхідних параметрів системи при рішенні часткових завдань створення і адаптації та побудова залежності критеріїв оцінки якості для кожного рівня системної ієрархії.

Розрахунковий модуль призначений для одержання на основі теоретико-розрахункових методів значень системних параметрів і характеристик, які можуть бути вихідними даними для наступних розрахунків ВСРЗ в цілому і по кожному системному елементу окремо.

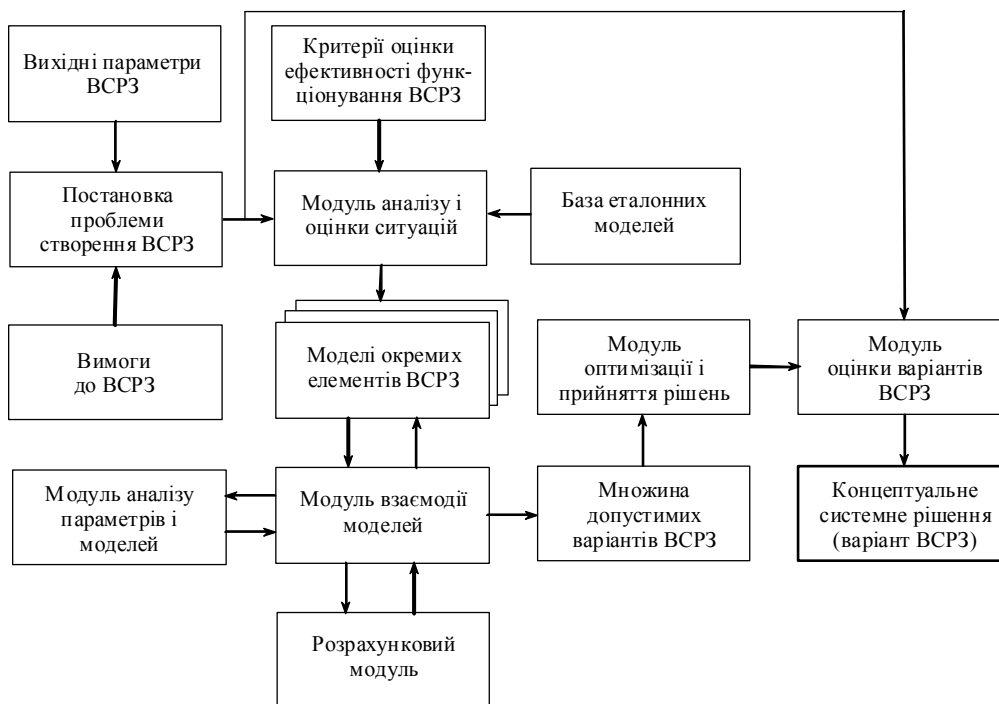


Рис. 1. Процес багатоваріантного синтезу концептуального системного рішення варіанту побудови ВСРЗ

Організація взаємодії моделей елементів мереж при різноманітному синтезі системних рішень включає такі етапи:

визначення параметрів і характеристик розроблювальної системи;

аналіз взаємозв'язку параметрів і моделей елементів системи на основі розробленої структури ієрархічного моделюючого комплексу;

калібрування моделей, узгодження вхідних і вихідних параметрів моделей системи та її елементів, тобто вибір відповідних завдань створення й адаптації (визначення класів і підкласів завдань), виявлення приналежності кожного параметра системи до конкретних моделей;

побудова і аналіз графової моделі військової системи радіозв'язку.

ВСРЗ представляється у вигляді глобальної керованої мережі радіозв'язку, що складається з множини локальних підмереж радіозв'язку (рис. 2). Кожна з підмереж характеризується графом

$$G_q(\mathbf{V}^q, \mathbf{E}^q) \quad (q = \overline{1, Q}),$$

де  $\mathbf{V}^q = \{V_i^q\}$  – множина вузлів, а  $\mathbf{E}^q = \{E_{ij}^q\}$  – множина напрямів зв'язку або окремих радіоліній (радіоканалів) між вузлами  $V_i$  і  $V_j$ . При цьому вузли, можуть виконувати функції відправників, одержувачів або ретрансляторів повідомлень. Надалі, будемо розглядати вузли та канали, якими вони зв'язані в межах підмережі радіозв'язку  $q$ -го рівня ВСРЗ.

Початковими умовами для рішення задачі побудови адаптивної ВСРЗ є [3, 9]:

параметри вузла  $V_i$ : режим роботи засобу радіозв'язку, потужність сигналу, ймовірність помилко-

вого приймання сигналів, розмірність ансамблю сигналів, швидкість коригувального коду, величина кодової відстані, швидкість передачі інформації; кількість активних піднесучих (у режимі ортогонального частотного мультиплексування), робоча частота, швидкість та алгоритм перестроювання частоти в режимі псевдовипадкового перестроювання робочої частоти;

параметри радіоканалу: оцінка частотної характеристики багатопробеневого каналу, відношення сигнал/(завада + шум); ширина смуги пропускання каналу, протокол множинного доступу до радіоканалу, ширина смуги навмисної завади; амплітуда навмисної завади; вид навмисної завади.

Найважливішими характеристиками, що визначають граф глобальної мережі  $G(\mathbf{V}, \mathbf{E})$ , є:

матриця зв'язності розмірністю  $N \times N$

$$\mathbf{S}(t) = \|\|s_{ij}(t)\|\|, \quad (1)$$

елементи якої визначаються як

$$s_{ij}(t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } E_{ij} \in \mathbf{E}, \\ 0, & \text{якщо } E_{ij} \notin \mathbf{E}; \end{cases}$$

матриця-стовпець координат місць розташування окремих вузлів зв'язку (ОВЗ) в просторі розміру  $N \times 1$ :

$$\mathbf{K}(t) = \|\|k_i(t)\|\|, \quad (2)$$

де елементи  $k_i(t)$  – координати ОВЗ  $R_i (i = \overline{1, N})$ ;

матриця взаємного віддалення ОВЗ розміру  $N \times N$ :

$$\mathbf{R}(t) = \|\|r_{ji}(t)\|\|, \quad (3)$$

в якій елементи  $r_{ij}(t)$  – відстані між ОВЗ  $V_i$  і ОВЗ  $V_j (i, j = \overline{1, N}; i \neq j)$ .

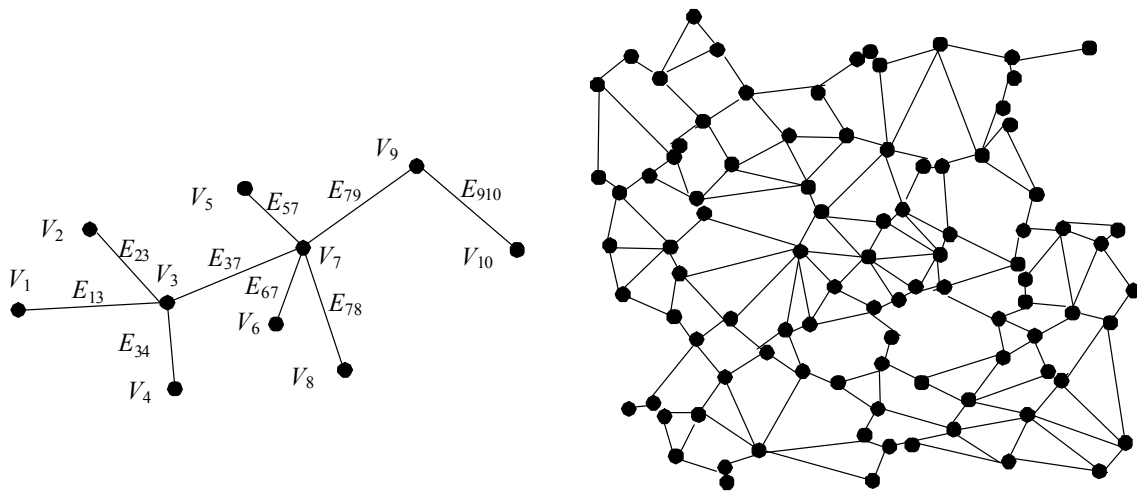


Рис. 2. Приклади структурних моделей ВСРЗ

Залежність елементів матриць (1) – (3) в часі означає той факт, що структура і топологія глобальної мережі радіозв'язку можуть змінюватися в процесі нормального функціонування (наприклад, під впливом протиборчої системи).

Позначимо через  $R_{ij} = \bigcup R_{ij}(m)$  множину можливих маршрутів передачі потоків повідомлень від ОБЗ  $V_i$  до ОБЗ  $V_j$  ( $i, j = \overline{1, N}; i \neq j$ ) з числом складених ділянок  $t = 1, 2$  (розглядаються тільки прямі канали радіозв'язку і обхідні шляхи з використанням лише однієї ретрансляції повідомлень). Тоді зв'язність повнозв'язної комутованої глобальної мережі радіозв'язку  $M_{ij} = |R_{ij}| = N - 1$ .

Проведемо ієрархічну декомпозицію ВСРЗ. У загальній розподіленій структурі даної глобальної комутованої мережі радіозв'язку виділимо за ознакою оперативного призначення або регіонального ознакою  $Q$  локальних підмереж радіозв'язку ( $Q > 1$ ), кожна з яких характеризується підграфом

$$G_q(V^q, E^q) \quad (q = \overline{1, Q}),$$

де  $V^q = \{V_i^q\}$  – множина ОБЗ, а  $E^q = \{E_{ij}^q\}$  – множина напрямів зв'язку або окремих радіоліній між ОБЗ  $V_i$  і ОБЗ  $V_j$ , в  $q$ -й підмережі ( $i, j = \overline{1, N_q};$

$\sum_{q=1}^Q N_q = N; i \neq j$ ). При цьому для

$$\forall q, p = \overline{1, Q}; q \neq p \text{ вірно } V^q \cap V^p = \emptyset, V = \bigcup_{q=1}^Q V^q.$$

Якщо передача потоків повідомлень будь-яким з маршрутів, задіяних за даним напрямом  $q$ -ї підмережі, виявляється неможливою (наприклад, внаслідок різкої зміни умов розповсюдження радіохвиль на трасі або дії завад), для передачі інформації адресатові виділяються радіолінії, задіяні для роботи в іншій, зокрема,  $p$ -ої підмережі. Кількість можливих маршрутів передачі в кожній  $q$ -й підмережі  $M_q \leq N_q - 1$ , а загальна їх кількість між двома ОБЗ

в глобальній мережі  $M \leq N - 1$ . Всі можливі обхідні маршрути передачі повідомлень між двома будь-якими ОБЗ будь-якої підмережі радіозв'язку з використанням ОБЗ інших підмереж утворюють безліч ребер  $E' = E / \bigcup_{q=1}^Q E^q$ .

Величину  $Q$  при декомпозиції структури ВСРЗ можна трактувати як число рівнів ієрархії ОБЗ або кількість можливих зон обслуговування повідомлень (підмереж радіозв'язку з безліччю прямих і складених каналів між ОБЗ цих підмереж) в глобальній мережі радіозв'язку. В принципі на етапі планування ВСРЗ завжди можна добитися того, щоб кількість зон обслуговування була рівною числу рівнів ієрархії ОБЗ за їх оперативною приналежністю.

Ієрархічною структурою (або структурою з жорсткою ієрархією) мережі радіозв'язку називатимемо послідовність часткових графів (підграфів)  $G_q (q = \overline{1, Q})$ , впорядковану за допомогою відношення строгого домінування

$$G = G_1 \succ G_2 \succ \dots \succ G_q \succ \dots \succ G_Q, \quad (4)$$

де  $G_Q = G_Q(V^Q, E^Q)$ .

Внаслідок можливого виходу з ладу і відновлення деякої множини елементів глобальної мережі радіозв'язку спочатку встановлені ієрархічні взаємозв'язки між ОБЗ можуть порушуватися випадковим чином. Тому в загальному випадку структура мережі радіозв'язку носитиме імовірнісний характер.

Випадковість знаходження будь-якого часткового графа підмережі  $G_q$  на  $p$ -му рівні  $q, p = \overline{1, Q}; q \neq p$  призводить до появи ансамблю  $A$  ієрархічних структур глобальної мережі радіозв'язку, що характеризуються графом  $G(V, E)$ . Кожній структурі  $a_q$  в ансамблі  $A$  можна поставити у відповідність ймовірність її реалізації, а отже, визначити на ансамблі  $A$  функцію розподілу ймовірностей  $P(a_q)$ , де  $a_q \in A, q = \overline{1, Q}$ .

Таким чином, імовірнісною ієрархічною структурою глобальної мережі радіозв'язку називатимемо ансамбль  $A$  ієрархічних структур із заданою на ньому функцією розподілу ймовірностей  $P(a_q)$ :

$$P = \{A, P(a_q) / a_q \in A; q = \overline{1, Q}\}. \quad (5)$$

Таке представлення ВСРЗ дозволяє зручно формалізувати структуру ВСРЗ і значно спростити кількісну оцінку структурної стійкості системи.

У процесі організації взаємодії моделей елементів при створенні та адаптації ВСРЗ залежно від конкретних завдань і з метою економії часових і обчислювальних ресурсів здійснюється декомпозиція структури ієрархічної багаторівневої графової моделі системи з урахуванням числа зв'язків і аналізуються окремі підграфи. Далі встановлюються необхідні математичні залежності між підграфами й, після цього, аналізується система в цілому.

За допомогою багаторівневої графової моделі ВСРЗ створення й адаптацію системи можна розпочинати з будь-якого завдання (моделі), якій відповідає вершина графа (одна або декілька).

## ВИСНОВКИ

У статті запропонована нова наукова концепція для організації взаємодії моделей елементів військових систем радіозв'язку у складі ієрархічного комплексу, що дозволяє: здійснювати організацію взаємодії розрізаних моделей і їх узгодження по параметрам і характеристикам ВСРЗ, за часом розрахунків, точністю й одиницями виміру; оперувати із уже існуючими моделями, а також включати до складу комплексу нові моделі, забезпечуючи можливість поповнення, удосконалювання й відновлення моделей; інтегрувати моделі комплексу залежно від конкретної ситуації створення й адаптації; моделювати мережі і їх елементи; проводити різноманітні розрахунки й багаторівневе моделювання; ефективно оцінювати мережні параметри та характеристики.

**Напрямок подальших досліджень** є розробка концепції адаптивного управління топологією радіомереж спеціального призначення.

## КОНЦЕПЦИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЕННЫХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ

А.Г. Жук

*В работе предложена новая научная концепция, с помощью которой осуществляется организация взаимодействия и согласование моделей элементов военных систем радиосвязи.*

**Ключевые слова:** система радиосвязи, графовая модель, системное решение, радиоэлектронное подавление, преднамеренные помехи.

## THE CONCEPT OF THE ORGANIZATION OF INTERACTION ELEMENTS OF MILITARY RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

A.G. Zhuk

*In article offered a new scientific concept, which is organization of interaction and coordination models of the elements of military radio communication systems.*

**Keywords:** telecommunication system, the graph model, the system solution, electronic jamming and intentional interference.

## Список літератури

1. Шишацький А.В. Развитие интегрированных систем зв'язку та передачі даних для потреб Збройних Сил / А.В. Шишацький О.М. Башкиров, О.М. Костина // *Науково-технічний журнал "Озброєння та військова техніка"*. – К.: ЦНДІ ОВТ ЗС України, 2015. № 1(5) 2015. – С.35–40.
2. Аналіз шляхів вдосконалення засобів радіозв'язку мережі радіодоступу військової телекомунікаційної системи / Т.Г. Гурський, С.О. Кравчук [та ін.] // *Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ”*. – 2007. – Вип. 1. – С. 30–42.
3. Гостев В.И. Динамическое управление радиоресурсом в системах связи / В.И. Гостев, В.Е. Федяев, Д.А. Худолій. – К: Радиоаматор, 1998. – 412 с.
4. Системы связи и управления. Средства телекоммуникаций [Электронный ресурс] // *Mode of access: http://www.svyazexpo.rasu.ru/index.php?rubr=2*.
5. Агафонов А.А. и др. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / под ред. В. Г. Радзиевского. – М.: Радиотехника, 2006. – 424 с.
6. Куприянов А.И. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы: Учеб. пособие / А.И. Куприянов, А.В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2007. – 356 с.
7. Кондратьев А. Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США „Профет” / А. Кондратьев // *Зарубежное военное обозрение*. – 2008. – № 7. – С. 37–41.
8. Кувишинов О.В. Адаптивне управління засобами завадозахисту військових систем радіозв'язку / О.В. Кувишинов // *Збірник наук. праць ВІКНУ*. – 2009. – Вип. 17. – С. 125–130.
9. Стеклов В. К. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Є.В. Кільчицький. – К.: Техніка, 2004. – 576 с.
10. Міночкін А.І. Проблема створення системи управління мобільною компонентою мереж зв'язку військового призначення / А.І. Міночкін // *Збірник наукових праць № 5*. – К.: ВІКНУ. – 2006. – С. 86–97.
11. Alberts D. Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority / D. Alberts, J. Garstka, F. Stein // *CCRP Publication Series*. – Washington, 2000. – P. 2–3.
12. Голяницкий И.А. Математические модели и методы в радиосвязи / И.А. Голяницкий; под ред. Ю.А. Громакова. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 440 с.
13. Голдсмит А. Беспроводные коммуникации / А. Голдсмит. – М.: Техносфера, 2011 – 904 с.

Надійшла до редколегії 25.01.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.О. Романенко, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ.