

УДК 621.391

DOI: 10.15587/2706-5448.2021.225017

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ЗАСАД УПРАВЛІННЯ РАДІОРЕСУРСОМ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В УМОВАХ АПРІОРНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Шишацький А. В., Мельник А. О., Бондар О. П., Петрук О. В., Черняхівський Д. В., Кривенко М. В., Петров О. В., Кравчук С. М., Шідловський Ю. Л., Лук'янець В. В.

У роботі вирішено завдання обґрунтування методологічних засад управління радіоресурсом військових систем радіозв'язку в умовах апріорної невизначеності. Об'єктом дослідження є система військового радіозв'язку. Одним з найбільш проблемних місць при управлінні радіоресурсом військових радіомереж є неможливість проводити наскрізне ієрархічне управління параметрами та режимами роботи як окремих радіозасобів, так і системи військового радіозв'язку в цілому. Це знижує ефективність як самої системи, так і ефективності її застосування.

Наукове завдання вирішено за допомогою обґрунтування методологічних засад управління радіоресурсом військових систем радіозв'язку в умовах апріорної невизначеності. В ході проведеного дослідження авторами роботи були використані основні положення теорії масового обслуговування, теорії автоматизації, теорії складних технічних систем, а також загальнонаукові методи пізнання, а саме аналізу та синтезу. Новизна полягає в тому, що в ході роботи:

– сформульована мета функціонування підсистеми оперативного управління радіоресурсом систем військового радіозв'язку;

– визначені показники та критерії ефективності функціонування систем військового радіозв'язку;

– проведена декомпозиція рішення даної проблеми на задачі в залежності від сигнальної та заводової обстановки.

Для функціонального опису систем військового радіозв'язку застосовується підхід, заснований на ієрархічній декомпозиції функціональної структури мереж, поведінка яких описується стохастичними диференціальними (або різницевими) рівняннями стану високої розмірності, на ряд взаємопов'язаних, але простіших функціональних структур. Це дозволить провести декомпозицію стану системи військового радіозв'язку та підвищити оперативність прийняття рішень щодо корегування режимів роботи та параметрів системи військового радіозв'язку в режимі реального часу. Результати дослідження доцільно використовувати на етапі оперативного управління параметрами та режимами роботи зазначених систем.

Ключові слова: *система військового радіозв'язку, ієрархічна декомпозиція функціональної структури мереж, радіоелектронне подавлення, дестабілізуючі фактори.*

1. Вступ

Як свідчить досвід локальних війн та збройних конфліктів останніх десятиріч в ході проведення операцій (бойових дій) засоби радіозв'язку як правило становлять основу будь-якої системи управління та зв'язку. Це обумовлене високою динамічністю бойових дій, великою дальністю дії та можливістю роботи в русі [1, 2]. Враховуючи велику значимість засобів військового радіозв'язку в системі управління та зв'язку угруповання є необхідність пошуку нових шляхів підвищення їх ефективності. В зазначеній роботі під критерієм ефективності систем військового радіозв'язку будемо вважати ймовірність бітової помилки [3, 4]. Слід зазначити, що засоби радіозв'язку в сучасних військових конфліктах використовуються саме для забезпечення потреб мобільних угруповань військ (сил).

Як відомо, система військового радіозв'язку складається зі стаціонарної та польової компоненти (мобільної компоненти). Особливості бойового застосування мобільної компоненти (МК) систем військового радіозв'язку (СВРЗ) передбачають створення системи управління, що характеризується адаптивністю, надійністю, а також заданою якістю функціонування в умовах апріорної невизначеності про стан системи зв'язку.

Найбільш доцільним способом управління радіоресурсом є оперативне управління. Система оперативного управління властиві ряд взаємопов'язаних функцій [5, 6]:

- оперативний контроль засобів радіозв'язку та якості обслуговування (QoS – quality of service – якість обслуговування);
- збір службової (контрольної) інформації про стан каналів радіозв'язку та засобів радіозв'язку;
- управління побудовою та підтримкою маршрутів передачі інформації між засобами радіозв'язку;
- управління топологією мережі військового радіозв'язку;
- управління безпекою мережі військового радіозв'язку;
- управління радіоресурсом мережі військового радіозв'язку;
- управління навантаженням на радіонапрямки та радіомережу в цілому;
- управління витратами енергоресурсу мережі військового радіозв'язку;
- корекція процесів оперативного управління за результатами прогнозування стану радіозв'язку та планування бойового застосування засобів радіозв'язку.

На стан СВРЗ впливає велика кількість умов та факторів, що визначають умови бойового застосування СВРЗ та окремих елементів СВРЗ. Бойове застосування СВРЗ проходить в умовах дефіциту різного роду ресурсів, що виділяються для організації радіозв'язку. Питанням підвищення ефективності систем радіозв'язку спеціального призначення присвячено багато досліджень, основні з них [7, 8]. Проте вони обмежені лише управлінням якогось одного параметру на окремо взятому рівні моделі взаємодії відкритих систем.

Враховуючи зазначене доцільне проводити наскрізне ієрархічне управління СВРЗ, а саме: управління структурою СВРЗ, параметрами та режимами роботи СВРЗ. Зазначене дозволить забезпечити необхідну якість радіозв'язку інформаційного обміну в при мінімально необхідних затратах всіх ресурсів СВРЗ.

Отже, об'єктом дослідження є система військового радіозв'язку. А метою зазначеного дослідження слід вважати підвищення ефективності функціонування системи військового радіозв'язку за рахунок обґрунтування нових принципів управління радіоресурсом.

2. Методика проведення дослідження

Враховуючи наведене вище, пропонується розглянути СВРЗ як об'єкт управління в частині управління використанням радіоресурсу СВРЗ [3, 4].

Під радіоресурсом розуміють певну кількість засобів радіозв'язку, об'єднаних в одну або декілька систем по обміну інформацією або енергією із заданою якістю у заданому частотному діапазоні з врахуванням їх технічних характеристик і просторово-часових координат [9, 10].

Ефективне використання радіоресурсу СВРЗ передбачає комплексне управління частотними, енергетичними, часовими та просторовими ресурсами СВРЗ в цілому та в окремих радіонапрямах.

3. Результати дослідження та обговорення

На рис. 1, 2 наведено структуру системи оперативного управління радіоресурсом СВРЗ.

Структура підсистеми управління радіоресурсом СВРЗ представлена на рис. 1, де $B_0(T)$, $B_3(T)$, $\mu(T)$ – вектори дестабілізуючих факторів, що впливають на якість військового радіозв'язку; $H(t)$ – вектор оцінок стану СВРЗ в цілому та в окремих радіонапрямах.

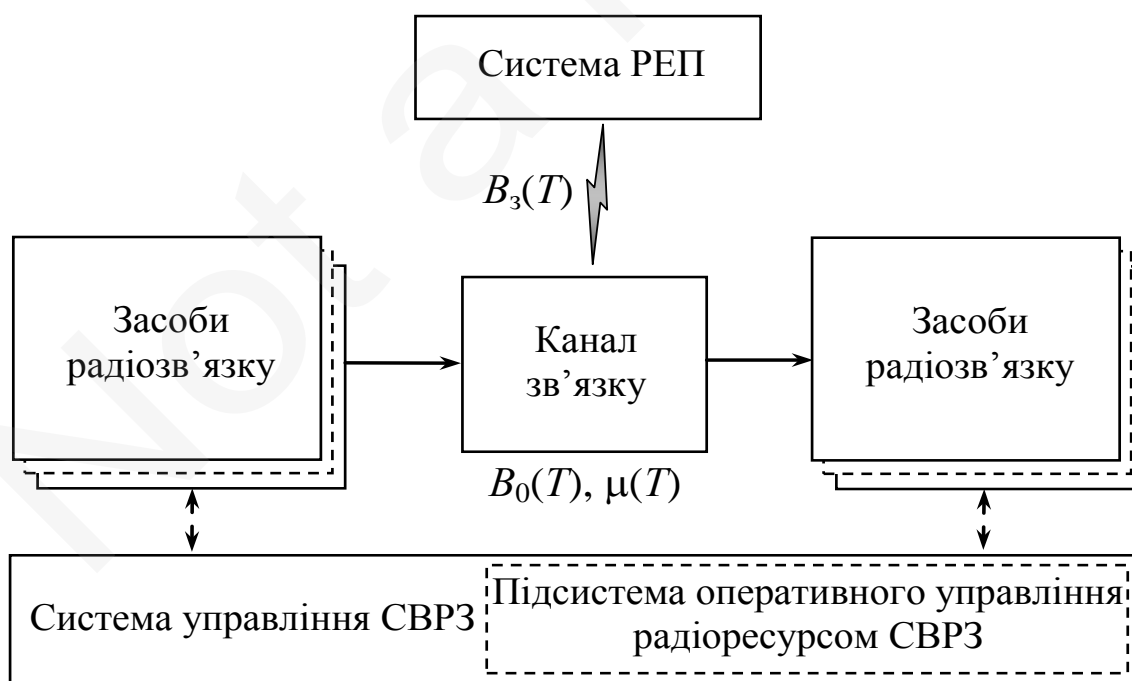


Рис. 1. Графічне відображення місця системи оперативного управління радіоресурсом в загальній структурі систем військового радіозв'язку (СВРЗ): РЕП – радіоелектронна протидія

Система оперативного управління кожного вузла СВРЗ функціонально може бути представлена як множина окремих та взаємозв'язаних підсистем (рис. 2).

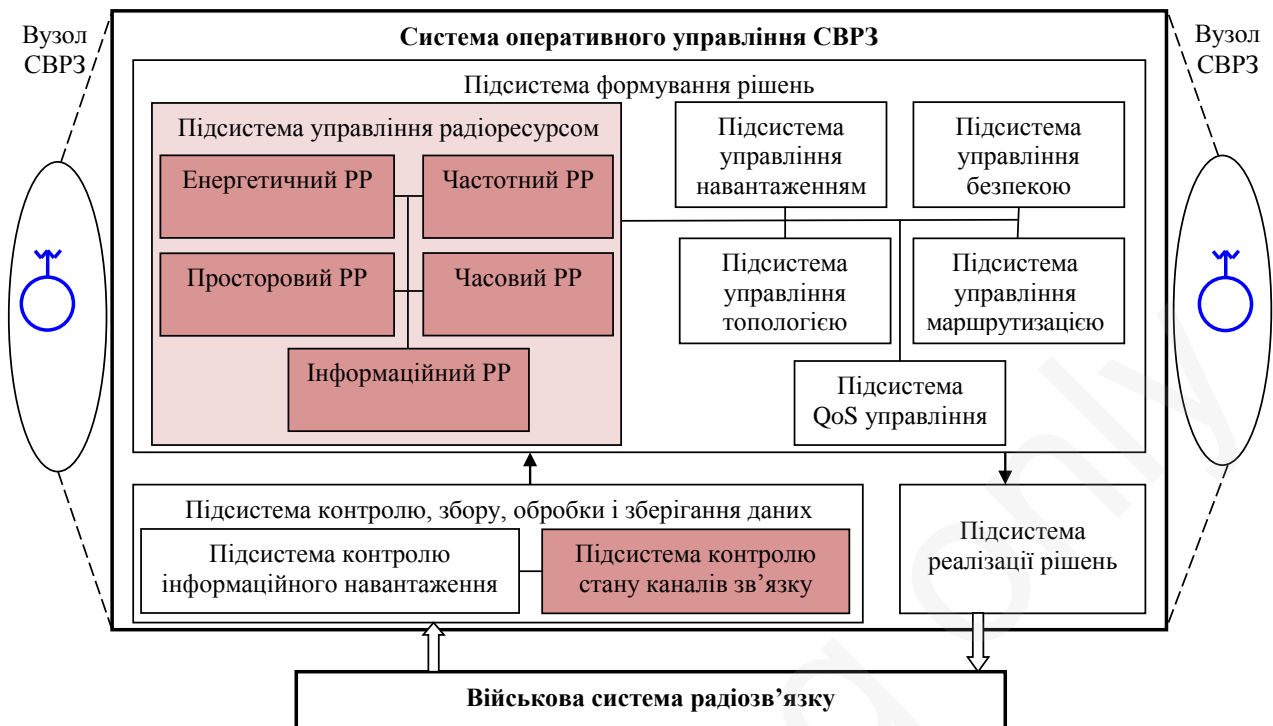


Рис. 2. Функціональна модель системи управління систем військового радіозв'язку (СВРЗ): РР – радіоресурс системи радіозв'язку

Загальною особливістю підсистем оперативного управління є відображення в них динамічного характеру функціонування СВРЗ.

Підсистема управління маршрутизацією використовує множину методів маршрутизації та забезпечує передачу інформації від відправника до отримувача в залежності від умов бойового застосування (ведення операції).

Підсистема управління топологією використовує множину методів формування топології СВРЗ. Топологія визначає складність з доставки даних між взаємодіючими засобами радіозв'язку СВРЗ. Висока динамічність ведення бойових дій підрозділами призводить до зміни топології СВРЗ.

Вузли СВРЗ функціонують в загальному інформаційному середовищі, тому вони уразливі для потенційних атак противника. Результатами деструктивних дій на СВРЗ може стати як прослуховування (сканування) трафіку, так і повна дезорганізація його роботи. Атаки, які направлені на СВРЗ класифікуються, як зовнішні та внутрішні, активні та пасивні. Захист від атак здійснюється методами, які функціонують в підсистемі управління безпекою.

Збирання інформації про стан зони вузла, або всієї мережі, її обробка та збереження здійснюється засобами підсистеми контролю, збору, обробки та зберігання даних (ПКЗОЗ), яка формує інформаційний ресурс системи управління. ПКЗОЗ підтримує в актуальному стані інформаційний ресурс. Розглянемо основні принципи її побудови [9, 10].

1. *Принцип адаптивності в ході управління.* Управління радіоресурсом СВРЗ полягає в забезпеченні інформаційного обміну з заданими показниками.

Виконання зазначеного принципу відбувається в умовах радіоелектронного подавлення, топології СВРЗ, інтенсивності інформаційного навантаження в мережі та QoS.

Оперативне управління припускає рішення наступних завдань:

– формування та видачу дій, що управляють, відповідно до плану зміни стану СВРЗ;

– контроль стану СВРЗ;

– формування та видачу додаткових управляючих впливів, призначених для ліквідації наслідків дії на СВРЗ різних збурень, що призводять до зниження якості радіозв'язку.

Мета управління СВРЗ в залежності від показника ефективності функціонування формується у вигляді:

$$W^*(T) = \arg \min_{W(T) \in \Omega} P_{\text{пом}}(\psi_i(T), W(T));$$

$$W^*(T) = \arg \max_{W(T) \in \Omega} \beta_E(\psi_i(T), W(T));$$

$$W^*(T) = \arg \min_{W(T) \in \Omega} k_i(\psi_i(T), W(T)), \quad (1)$$

де Ω – обмеження, що накладаються на вибір управління, $i = \overline{1, m}$, $P_{\text{пом}}$ – ймовірність бітової помилки; β_E – енергетична ефективність системи радіозв'язку, $\psi_1 \dots \psi_m$ – параметри та режими роботи засобів радіозв'язку; T – тривалість циклу управління, $W(T)$ – рішення з оперативного управління параметрами та режимами роботи СВРЗ. Вони пов'язані з вимогами до якості обслуговування потоків даних і можливостями СВРЗ.

2. *Принцип адекватності в ході управління.* СВРЗ повинна забезпечувати контроль стану радіоканалів в режимі реального часу та якості свого інформаційного обміну, а також передачу службової (контрольної) інформації про стан радіомереж та окремих засобів радіозв'язку.

3. *Принцип оптимальності в ході управління.* Адаптивне управління радіоресурсом СВРЗ призначене для корекції режимів роботи СВРЗ при зміні сигнальної та заводової обстановки як в каналі зв'язку, так і в системі в цілому. Кінцевою ціллю оперативного управління радіоресурсом є досягнення максимальної ефективності (екстремуму функції) використання радіоресурсу, що може бути виражений функціоналом ефективності.

Для реалізації принципу оптимальності управління потрібно збір, обробку та узагальнення інформації про стан окремого засобу радіозв'язку та СВРЗ в цілому [3, 8].

Першою умовою оптимального управління є:

$$W_0^z = \min \{ W_{\text{рш}}(T) + W_{\text{інф}}(T) \}, \quad T = \text{const},$$

де $W_{\text{інф}}$ – обчислювальна складність оцінювання стану СВРЗ; $W_{\text{ріш}}$ – втрати від неправильних рішень; I – обсяг обробленої інформації; T – час збору, обробки та узагальнення інформації та формування керуючих впливів.

Друге важливе значення має оперативність управління. Оперативність управління характеризує оперативність процесу збору, обробки та узагальнення інформації стану та формування керуючих впливів:

$$W_0^T = \min_T \{ W_{\text{ріш}}^I(T) + W_{\text{інф}}^T(T) \}, \quad I = \text{const},$$

де $W_{\text{ріш}}^I(T)$ – характеризує залежності втрат в ефективності управління від часу реалізації управляючих дій; $W_{\text{інф}}^T(T)$ – характеризує залежності витрат на збір, обробку та узагальнення інформації про стан СВРЗ.

При управлінні повинні враховуватися оперативність та обчислювальна складність, тобто:

$$W^{opt} = \min_{I,T} (W_0^I + W_0^T). \quad (2)$$

4. *Принцип стійкості при управлінні.* Стійкість визначається здатністю підсистеми оперативного управління радіоресурсу виконувати свої функції в умовах динамічної зміни оперативної обстановки та в умовах впливу засобів радіоелектронної боротьби.

5. *Принцип розподіленості при управлінні.* У функціональній структурі СВРЗ чітко видно два функціональні рівні, що знаходяться між собою в ієрархічному підпорядкуванні [10].

Нижній рівень вирішує завдання контролю та управління окремими радіолініями (радіонапрямками), а другий рівень вирішує завдання управління СВРЗ в цілому.

6. *Принцип ієрархічності процесів управління.* Кожна складна система управління передбачає ієрархічність, тобто визначена підпорядкованість елементів і підсистем. За зазначеним принципом формалізований опис СВРЗ зводиться до побудови математичної моделі територіально розподілених радіозасобів, що взаємодіють між собою.

Виходячи з вищезазначеного визначимо основні методи підвищення завадозахищеності СВРЗ [7, 9] (рис. 3).

Існує необхідність забезпечення вимог до якості функціонування СВРЗ і створення множини функціональних можливостей підсистеми оперативного управління по формуванню доцільної поведінки та плануванню послідовності операцій управління.



Рис. 3. Основні методи підвищення завадозахищеності систем і засобів радіозв'язку: ППРЧ – псевдовипадкова перестройка робочої частоти

Все це обумовлює розробку засобів і методів оперативного управління, заснованих на комплексному застосуванні заходів і засобів підвищення ефективності функціонування СВРЗ в умовах активної радіоелектронної протидії.

4. Висновки

Аналіз особливостей функціонування військових систем радіозв'язку, задач, етапів і функцій управління нею дозволив визначити базові положення методології оперативного управління радіоресурсом військових систем радіозв'язку. Обґрунтовані та розвинуті положення системного підходу до вирішення проблеми оперативного управління радіоресурсом СВРЗ:

- проведена класифікація задач оперативного управління радіоресурсом СВРЗ;
- розроблена схема системного аналізу та синтезу методів і методик оперативного управління радіоресурсом СВРЗ;
- сформульована мета функціонування підсистеми оперативного управління радіоресурсом СВРЗ;
- обґрунтовані принципи її побудови та структура;
- визначені показники та критерії ефективності функціонування СВРЗ;
- обґрунтовані етапи вирішення проблеми розробки методології оперативного управління радіоресурсом СВРЗ;
- визначені вимоги до методів управління в СВРЗ;

– проведена декомпозиція рішення даної проблеми на задачі в залежності від сигнальної та заводової обстановки в каналі та наявності інформації про дії системи радіоелектронного подавлення.

В зазначеній роботі для опису СВРЗ використовується ієрархічний підхід, що дозволяє провести опис великої кількості процесів, що відбуваються в СВРЗ за рахунок сукупності векторів низької розмірності.

Напрямки подальших досліджень будуть спрямовані на розробку методології оперативного управління засобами заводозахисту інтелектуальних систем військового радіозв'язку.

Література

1. Bashkyrov, O. M., Kostyna, O. M., Shyshatskyi, A. V. (2015). Development of integrated communication systems and data transfer for the needs of the Armed Forces. *Weapons and military equipment*, 5 (1), 35–40.
2. Romanenko, I. O., Shyshatskyi, A. V., Zhyvotovskiy, R. M., Petruk, S. M. (2017). The concept of the organization of interaction of elements of military radio communication systems. *Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*, 1, 97–100. doi: <http://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.20>
3. Shevchenko, D. H. (2020). The set of indicators of the cyber security system in information and telecommunication networks of the Armed Forces of Ukraine. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*, 2 (38), 57–62. doi: <http://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-38-2-57-62>
4. Sokolov, K. O., Hudyma, O. P., Tkachenko, V. A., Shyiatyi, O. B. (2015). Osnovni napriamy stvorennia IT-infrastruktury Ministerstva obrony Ukrainy. *Zbirnyk naukovykh prats Tsentru voienno-stratehichnykh doslidzhen Natsionalnoho universytetu obrony Ukrainy imeni Ivana Cherniakhovskoho*, 3 (6), 26–30.
5. Kuvshynov, O. V. (2009). Adaptivne upravlinnia zasobamy zavadozakhystu viiskovykh system radiozviazku. *Zbirnyk naukovykh prats VIKNU*, 17, 125–130.
6. Shaheen, E. M., Samir, M. (2013). Jamming Impact on the Performance of MIMO Space Time Block Coding Systems over Multi-path Fading Channel. *REV Journal on Electronics and Communications*, 3 (1-2), 68–72. doi: <http://doi.org/10.21553/rev-jec.56>
7. Abdukhilil, T., Yadgarova, N. (2018). Study of the Application of Noise Immunity in Radio Communication Systems for Special Courses. *Bioprocess Engineering*, 2 (2), 20–23. doi: <http://doi.org/10.11648/j.be.20180202.11>
8. Makarenko, S. I. (2017). Prospects and Problems of Development of Communication Networks of Special Purpose. *Systems of Control, Communication and Security*, 2, 18–68. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/02-Makarenko.pdf>
9. Khan, M. N., Jamil, M. (2016). Adaptive hybrid free space optical/radio frequency communication system. *Telecommunication Systems*, 65 (1), 117–126. doi: <http://doi.org/10.1007/s11235-016-0217-8>
10. Adrat, M., Ascheid, G. (2015). Special Issue on Recent Innovations in Wireless Software-Defined Radio Systems. *Journal of Signal Processing Systems*, 78 (3), 239–241. doi: <http://doi.org/10.1007/s11265-014-0968-y>