

## ОПЕРАТИВНЕ УПРАВЛІННЯ РАДІОРЕСУРСОМ ВІЙСЬКОВИХ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ НАВМИСНИХ ЗАВАД

В статті проведено класифікацію та аналіз завдань управління радіоресурсом військових систем радіозв'язку в умовах активної радіоелектронної протидії, визначені напрямки підвищення ефективності функціонування військових систем радіозв'язку.

*Клімович С.О., Борисов О.В., Борисов І.В., Ляшенко А.Т. Оперативное управление радиоресурсом военных систем радиосвязи в условиях преднамеренных помех. В статье проведена классификация и анализ задач управления радиоресурсом военных систем радиосвязи в условиях активного радиоэлектронного противодействия, определены направления повышения эффективности функционирования военных систем радиосвязи.*

*S. Klimovich, O. Borisov, I. Borisov, A. Lyashenko Operational radio resource control of military radio communication systems in conditions of intentional interference. The article deals with the classification and analysis of radio resource management tasks of military radiocommunication systems under conditions of active radio-electronic counteraction, certain directions of increasing the efficiency of the operation of military radio systems are determined.*

**Ключові слова:** радіоресурс, оперативне управління, радіоелектронне подавлення.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Однією з тенденцій розвитку тактики загальновійськового бою є широке застосування засобів радіоелектронної боротьби. У військових доктринах багатьох розвинених держав значна увага приділяється завоюванню ініціативи й переваги в інформаційному й повітряно-космічному просторі, а потім вже на морі й суші. Сучасні засоби радіоелектронного подавлення здатні з високою ефективністю та у короткий час подавити систему радіозв'язку, побудовану на традиційних принципах [1 – 4].

Враховуючи це, стає досить складним завдання забезпечення стійкого радіозв'язку в умовах активного радіоелектронного подавлення (РЕП). Успішне його вирішення неможливо без застосування спеціальних технічних і організаційних заходів по забезпеченню оперативного управління радіоресурсом систем радіозв'язку (СРЗ). Під радіоресурсом розуміють (табл. 1) потенційну можливість певної кількості засобів радіозв'язку, об'єднаних в одну або декілька систем за обміном інформацією або енергією із заданою якістю у заданому частотному діапазоні з врахуванням їх технічних характеристик і просторово-часових координат [5].

Таблиця 1

### Складові радіоресурсу

Складові радіоресурсу	Енергетичний радіоресурс	Інформаційний радіоресурс	Часовий радіоресурс	Просторовий радіоресурс	Частотний радіоресурс
Параметри радіоресурсу	$P_c$ – потужність сигналу	$v_i$ – швидкість передачі інформації	$\tau_i$ – тривалість імпульса	$R$ – відстань між вузлами ВСЗ	$f_0$ – робоча частота
	$\beta_E$ – енергетична ефективність	$P_{\text{пом}}$ – ймовірність помилки	$T$ – тривалість циклу управління	$N_A$ – кількість антен радіозасобу	$\Delta f$ – ширина спектра
			$k_a$ – коефіцієнт адаптації		$N$ – кількість підканалів

Надалі під оперативним управлінням радіоресурсом розумітимемо процес динамічної організації та корекції такої цілеспрямованої дії на елементи СРЗ (об'єкт управління), в

результаті якого забезпечується максимальне значення показника ефективності функціонування СРЗ.

**Аналіз останніх публікацій.** Стратегічним напрямом при вирішенні задачі оперативного управління радіоресурсом СРЗ є перехід від систем з жорсткою структурою до адаптивних систем [5, 6]. Застосування адаптації дозволяє в умовах мінімальної апріорної інформації досягти оптимальних параметрів системи. З аналізу літератури [1 – 6] видно, що на сьогодні не в повній мірі розкриті єдині методології, теоретичних основ і математичного апарата прикладного аналізу та синтезу систем управління радіоресурсом мереж зв'язку в умовах активної радіоелектронної протидії.

**Метою статті** є визначення множини задач, цільових функцій управління радіоресурсом систем радіозв'язку при впливі засобів радіоелектронного подавлення.

**Виклад основного методу.** Проведемо класифікацію задач за циклом управління радіоресурсом СРЗ (рис. 1).

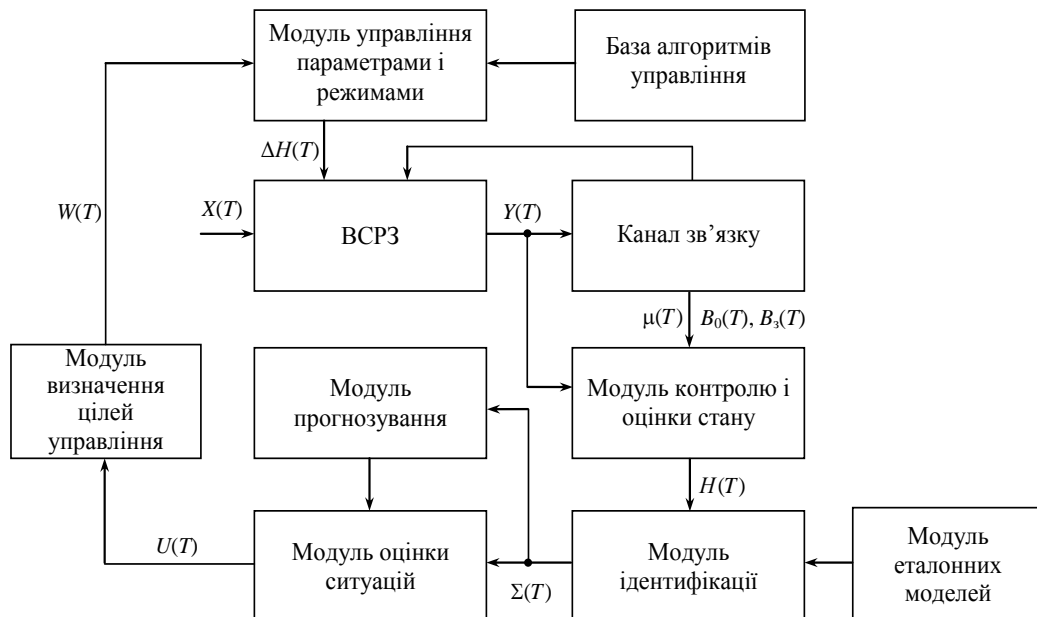


Рис. 3. Структура підсистеми управління радіоресурсом ВСРЗ

*Оцінка стану ВСРЗ.* Рациональне оперативне управління радіоресурсом ВСРЗ потребує знання про стан каналу зв'язку. Методи контролю стану каналів можна класифікувати: за об'ємом – глобальний і локальний (зонавий), фіксований і адаптивний; за способом – тестовий, непрямий, кодовий, прямий вимір [7, 8].

*Аналіз і прийняття рішення.* Задачі оперативного управління радіоресурсом можуть вирішуватися на трьох рівнях моделі взаємодії відкритих систем: фізичному, каналному та мережевому. В залежності від завадової обстановки в процесі аналізу можуть бути визначені наступні сценарії радіоелектронної обстановки в каналі: тільки селективні завмирання, навмисні завади з невідомими параметрами, навмисні завади з відомими параметрами.

*Реалізація управління.* За рівнем реалізації оперативного управління радіоресурсом виділяють задачі управління на рівні мережі (верхній рівень) та на рівні окремих абонентів чи радіозасобів (нижній рівень). За способом реалізації розрізняють: управління режимами роботи радіозасобів; управління параметрами (значеннями параметрів) цих засобів у визначених режимах роботи.

Для ефективного функціонування СРЗ необхідно комплексне координування частотних, енергетичних, часових і просторових ресурсів радіоканалів з врахуванням характеристик комплексу зовнішніх умов їх реалізації. Це визначає доцільність спільного синтезу СРЗ і систем управління їх радіоресурсів.

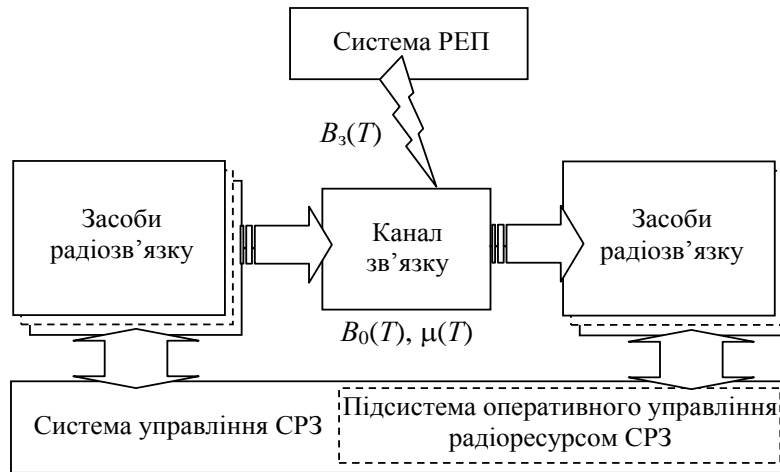


Рис. 2. Місце підсистеми оперативного управління радіоресурсом в структурі СРЗ

Систему управління радіоресурсом подано як підсистему розподіленого ієрархічного адаптивного управління СРЗ (рис. 2). На рис. 3.  $B_0(T), B_3(T), \mu(T)$  – вектори шуму, навмисних завад та селективних завмирань, що діють в каналі зв'язку ( $T$  – тривалість циклу управління).

Структура підсистеми управління радіоресурсом СРЗ представлена на рис. 3, де  $X(T)$  – вектор заданих впливів;  $Y(T)$  – вектор вихідних впливів;  $\Sigma(T)$  – вектор помилки (відхилення) параметрів системи від заданого значення;  $H(T)$  – вектор оцінок параметрів каналу зв'язку та стану ВСРЗ;  $U(T)$  – вектор оптимальних стратегій управління ВСРЗ;  $W(T)$  – вектор керуючих впливів;  $\Delta H(T)$  – вектор корекції параметрів і режимів роботи ВСРЗ.

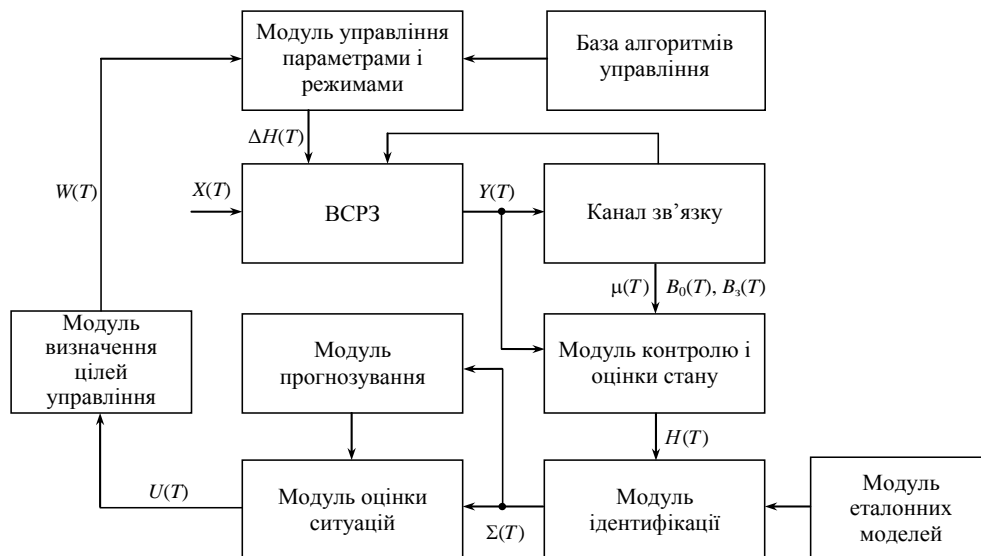


Рис. 3. Структура підсистеми управління радіоресурсом ВСРЗ

До узагальнених функцій підсистеми управління радіоресурсом можна віднести: контроль за поточним станом об'єктів, що ґрунтується на зборі й інформаційній обробці контрольованих параметрів; визначення ступеня невідповідності значень поточних параметрів заданим; ухвалення рішення про зміни в СРЗ; виконання рішення; автоматичне стеження за основними параметрами системи для прогнозування їх змін і т.д.

Ієрархічна структура системи радіозв'язку, як різновиду адаптивної системи, що автоматично змінює структуру, алгоритми роботи і параметри радіоапаратури з метою забезпечення необхідного показника якості зв'язку при зміні зовнішніх умов однозначно визначають рівні управління її адаптацією. Розглянемо детальніше функції процедур адаптивного (оперативного) управління, що властиві даній системі (табл. 2).

На системному рівні процедури адаптації забезпечують управління прикладними процесами, терміналами, адміністративне управління мережею. На мережевому рівні процедури адаптації забезпечують вибір маршруту доставки повідомлень, управління потоками повідомлень, протоколами і обміном даними, процедури конфігурації мережі. На рівні каналу зв'язку процедури адаптації забезпечують управління вибором робочої частоти, зондування середовища поширення радіохвиль і дослідження якості частотного каналу, спостереження за інтенсивністю використання частотного каналу, множинний доступ абонентів до ресурсу каналу. На рівні фізичної передачі процедури адаптації забезпечують управління швидкістю передачі даних, видом модуляції, завадостійким кодуванням, управління потужністю передавача, типом і діаграмою спрямованості випромінювання антени [9, 10]. Розглянемо докладніше процедури різних рівнів адаптації, що мають відношення до пошуку рішення задачі підвищення ефективності функціонування СРЗ (окремих радіоліній).

Таблиця 2

### Функції процедур адаптивного управління

Рівні адаптації	Функції процедур адаптивного управління	Робочий об'єкт
Рівень адаптації системи (прикладний)	Високорівневе управління системою Управління системою вибору частот Відновлення системи в надзвичайних ситуаціях	система
Рівень адаптації мережі (мережевий)	Маршрутизація повідомлень Адаптація маршрутів Управління потоками Управління протоколами Управління обміном даними Реконфігурація мережі	мережа
Рівень адаптації каналу (канальний)	Процедури вибору робочих частот Зондування середовища поширення радіохвиль Випробування якості каналів (оцінка каналу) Розподіл пропускнуої спроможності каналу	канал
Рівень адаптації фізичної передачі (фізичний)	Швидкість передачі даних Зміна виду модуляції Зміна завадостійкого кодування Зміна потужності передачі Адаптивне управління нулями діаграми спрямованості антени	фізична передача

Адаптивне управління на рівні каналу зв'язку забезпечує роботу каналу зв'язку радіолінії, тобто від пункту до пункту, включаючи управління вибором повного набору робочих частот, проведення зондування середовища поширення радіохвиль, спостереження за станом виділених частотних каналів радіолінії.

На канальному рівні основна увага приділяється методиці проведення безпосередніх випробувань виділеного частотного робочого каналу – системі оцінки якості каналу зв'язку в реальному часі – *Real-Time Channel Evaluation (RTCE)*. Процедура збору інформації *RTCE* – це автоматична технологія, що дозволяє приймачу проводити аналіз заданого списку робочих частот (сканування) з метою накопичення інформації, яка одержується за допомогою пасивних або активних методів контролю якості радіоканалу.

При підготовці заданих частотних каналів радіолінії до використання повинне виконуватися їх ранжирування з урахуванням отриманих оцінок якості, таких як рівень завад, ймовірність помилкового приймання, розбірливість мови. Таким чином, при тестуванні заданих частотних каналів окремої радіолінії, досліджуються характеристики тільки вибраних частотних каналів, передбачених до використання для зв'язку по даній радіолінії. Запропоноване рішення значно скорочує час отримання оцінок стану каналів і відповідної автоматичної настройки апаратури, а також підвищує точність оцінювання.

Отримані дані ранжирування використовуються не тільки для визначення ступеня готовності частотного каналу для передачі повідомлень, але і для визначення статистики зміни його якості, пропускнуої здатності або інтенсивності використання.

Розглянемо детальніше адаптивне управління, що використовуються в радіолінії на фізичному рівні. Дана процедура управляє параметрами сигналу, що передається по каналу зв'язку: швидкістю передачі, видом модуляції, параметрами завадостійкого коду, потужністю передачі, типом і діаграмою спрямованості антени.

*Управління швидкістю передачі.* При високій якості каналу зв'язку, швидкість передачі даних повинна бути встановлена максимально можливою. Проте за несприятливих умов для забезпечення необхідної надійності передачі даних в процесі адаптації швидкість передачі даних може бути знижена. Відповідно, адаптивна система автоматизованого управління апаратурою радіолінії повинна будуватися так, щоб спроби встановлення зв'язку починалися з максимальної швидкості передачі, а потім, якщо відношення кількості помилок на біт переданої інформації (ймовірність помилки), виявляється надмірно великим, система знижує швидкість передачі даних у спробі надійно закінчити процедуру передачі.

*Управління видом модуляції.* Вибір виду модуляції в складній радіоелектронній обстановці є критичним для радіозв'язку через нестационарність каналу зв'язку. Вид модуляції при зміні пропускної спроможності каналу повинен вибиратися оптимальним чином для забезпечення заданої ймовірності помилки. При зниженні якості каналу, тобто при зростанні контрольованої ймовірності помилок, для підвищення надійності демодуляції кратність модуляції може бути понижена, що також призводить до зниження загальної пропускної спроможності каналу передачі інформації.

*Управління параметрами завадостійкого коду.* Розглядаючи управління завадостійкістю кодування, відзначимо, що способи кодування з виправленням помилок забезпечують різні ступені надійності передачі даних і безпеки передачі. Залежно від стану каналу можуть бути вибрані ті або інші способи завадостійкого кодування. Адаптивне управління (за критерієм забезпечення заданої ймовірності помилки) структурою завадостійкості коду дозволить забезпечити в конкретних умовах максимальну пропускну здатність каналу зв'язку. Відзначимо, що для забезпечення високої швидкості і завадостійкості передачі інформації по радіолінії вибір швидкості передачі даних, видів модуляції і кодування повинен визначати оптимальний спосіб заповнення використовуваного сигнального простору. Тому вважається, що вибір всіх трьох вищевикладених способів управління сигнального рівня повинен бути взаємоузгодженим. Тоді єдина сигнально-кодова конструкція (СКК) забезпечить поліпшення загальної енергетичної і частотної ефективності використання радіоканалу [10]. Таким чином, управління швидкістю передачі інформації по радіолінії забезпечується вибором узгодженої зі станом каналу сигнально-кодової конструкції, що забезпечує в заданих умовах необхідну завадостійкість передачі при високій спектральній ефективності.

*Управління потужністю.* Важливою є процедура адаптивного управління рівнем потужності каналного сигналу. Техніка стеження за ефективністю потужності випромінювання дозволяє оцінити достатність її рівня для забезпечення заданої дальності і надійності радіозв'язку. Процедура адаптивного управління потужністю дозволяє понизити потужність випромінювання в умовах необхідності забезпечення роботи радіоліній і не встановлювати її рівень надмірно високим за добрих умов розповсюдження, тобто при забезпеченні прийняттого відношення сигнал/завада в заданій точці приймання. Адаптивне зниження потужності випромінювання є досить ефективним для системи з погляду електромагнітної сумісності, електромагнітної безпеки і розвідзахищеності.

*Управління діаграмою спрямованості антени.* Адаптивне управління діаграмою спрямованості антени також є ефективним способом підвищення якості радіозв'язку. Адаптивні антени, відповідно до встановленої методики можуть бути оперативно перебудовані головним пелюстком діаграми спрямованості по заданим напрямом роботи, а нулями – за напрямом заважаючих випромінювань. Доцільність перестроювання діаграми спрямованості антени, також визначається процедурою *RTCE* і величиною ймовірності помилкового приймання.

Підводячи підсумки виконаного аналізу способів адаптації, передбачених до використання, відзначимо, що для забезпечення надійної роботи радіоліній, відповідно до даних таблиці 1, найбільш ефективними виявляються:

на мережевому рівні – вибір маршруту доставки повідомлень;

на каналному рівні – процедури вибору робочих частот та оцінки якості каналів;

на фізичному рівні – процедури управління потужністю передачі, видом модуляції та завадостійкого коду.

Таким чином в статті проведена класифікація задач за циклом оперативного управління радіоресурсом, які будуть підвищувати ефективність функціонування сучасних систем радіозв'язку. Визначене місце системи управління радіоресурсом СРЗ та розкрита структура підсистеми управління радіоресурсом СРЗ. Визначено, що ефективне управління радіоресурсом в умовах активної радіоелектронної протидії являє собою комплексне координування частотних, енергетичних, часових і просторових ресурсів радіоканалів з врахуванням характеристик комплексу зовнішніх умов їх реалізації на принципах оперативного (адаптивного) управління. Напрямок подальшого дослідження є розробка методики вибору раціональних значень параметрів широкопasmового сигналу систем радіозв'язку в залежності від заводої обстановки.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Романюк В. А. Направления развития тактических сетей связи // Зв'язок. – 2001. – № 3. – С. 63 – 65.
2. Баушев С. В., Передрий А. В. Разработка перспективных систем связи вооруженных сил США и Объединенных вооруженных сил НАТО // Зарубежная радиоэлектроника. – 2000. – № 7. – С. 3 – 20.
3. Кондратьев. А. Перспективный комплекс РРТР и РЭВ сухопутных войск США „Профет” // Зарубежное военное обозрение. – 2008. – № 7. – С. 22 – 28.
4. Стрелецкий А. Американский перспективный наземный комплекс ведения радиоэлектронной войны „Вулфпак” // Зарубежное военное обозрение. – 2002. – № 10. – С. 27 – 28.
5. Гостев В. И. Динамическое управление радиоресурсами в системах связи / В. И. Гостев, В. Е. Федяев, Д. А. Худолый. - К. : Радиоаматор, 1998. – 411 с.
6. Стеклов В. К. та ін. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку : Підр. для вищ. навч. закл. – К.: Техніка, 2004. – 576 с.
7. Агафонов А.А., Артюх С.Н., Афанасьев В.И. и др. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / под ред. В.Г. Радзиевского. – М.: „Радиотехника”, 2006. – 424 с.
8. Пермяков О. Ю. Застосування сучасних інформаційних технологій в збройній боротьбі / О. Ю. Пермяков // Modern information technologies in the Sphere of security and Defence. – 2008. – №2. – С. 69 – 74.
9. Міночкін А.І., Романюк В.А., Скрипник Л.В. Управління мобільними мережами військового призначення – проблема та шляхи рішення // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2003. – № 4. – С. 112 – 119.
10. Коричнев Л. П., Королев В. Д. Статистический контроль каналов связи. – М.: Радио и связь, 1989. – 240 с.
11. Міночкін Д. А., Борисов І. В. Метод контролю стану каналу зв'язку із селективними завмираннями // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ”. – 2006. – Вип. 3. – С. 66 – 71.
12. Шаров А. Н. Автоматизированные сети радиосвязи. – Л.: ВАС, 1988. – 178 с.
13. Григорьев В. А., Лагутенко О. И., Распаев Ю. А. Сети и системы радиодоступа. – М.: Око-Трендз, 2005. – 384 с.