

*В.М. БЕЗРУК, д-р техн. наук, Ю.М. ГОЛОБОРОДЬКО, канд. техн. наук,
В.І. ЗАБОЛОТНИЙ, канд. техн. наук, М.С. СКИБЕНКО*

РАДІОКОНТРОЛЬ ВИПРОМІНЮВАНЬ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ. ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ

Вступ

Радіоконтроль – це система технічних засобів та заходів, спрямованих на виявлення, перехоплення, аналіз та оцінку радіовипромінювань з метою контролю за використанням радіочастотного спектру; виявлення загроз, пов'язаних з використанням радіоелектронних засобів. Радіоконтроль (РК) може включати дії щодо порушення роботи радіоелектронних засобів шляхом радіоелектронної протидії.

Надійність радіозв'язку, особливо в декаметровому (короткохвильовому) діапазоні (Short Waves), критично залежить від ефективності використання частотного спектра. Особливості поширення декаметрових хвиль, які надходять до приймача як поверхневою (ближня зона), так і просторовою (дальня зона, відбитаю від іоносфери) хвилями, створюють значні виклики [1, 2]. Це призводить до високого завантаження діапазону та ускладнює виявлення цільових радіовипромінювань (РВ) [3].

Завдання оперативного радіоконтролю завантаження декаметрового діапазону вимагає не лише виявлення РВ, а і точного визначення зони їхнього розміщення та розпізнавання заданих сигналів серед великої кількості невідомих, що не представляє оперативного інтересу. Методи радіоконтролю [4, 5], які часто базуються на ручному пошуку та візуально-апаратному аналізі, є надто повільними. Час, що витрачається оператором на аналіз одного випромінювання (від секунд до хвилин), робить виявлення короткочасних РВ майже неможливим і змушує різко зменшувати ширину діапазону, що обслуговується системою РК. Крім того, ці методи вимагають аналізу всіх виявлених сигналів, що істотно знижує швидкодію системи.

У відповідь на ці виклики актуальною стає розробка автоматизованих систем радіоконтролю, здатних ефективно виділяти (селектувати) РВ за зоною розміщення джерела та видом випромінювання. Метою статті є аналіз існуючих проблем і задач радіоконтролю декаметрового діапазону та обґрунтування застосування підходів, заснованих на використанні апріорної інформації про РВ, для автоматизації процесів їх виявлення та розпізнавання.

Наразі це завдання зазвичай вирішується так: за допомогою панорамного радіоприймального пристрою (РПУ) здійснюється пошук радіовипромінювань у заданому діапазоні частот. Потім усі виявлені випромінювання піддаються слуховим або візуально-апаратним способам аналізу для виявлення заданих РВ. Для визначення зони розміщення джерела радіовипромінювання використовують або антенні системи з великою апертурою для вимірювання вертикальних кутів приходу електромагнітної хвилі (кутів місця), або непрямі методи, що ґрунтуються на тривалому спостереженні за РВ (оцінка федінгу, стійкості пеленгу, тощо).

У зв'язку з тим, що за існуючих методів виявлення оператору пред'являються на аналіз усі виявлені РВ (як задані, так і множину невідомих), швидкодія таких систем РК не задовольняє сучасним вимогам. Зокрема, час, який витрачається оператором на аналіз одного випромінювання, становить від одиниць секунд до одиниць хвилин. При такому способі РК ймовірність виявлення короткочасних РВ прагне до нуля і для реалізації можливості виявляти короткочасні випромінювання доводиться різко знижувати ширину діапазону частот, що обслуговується одним оператором.

Аналіз завантаження діапазону та апіорна інформація

Завантаження декаметрового радіодіапазону залежить від багатьох факторів і дуже впливає на надійність радіозв'язку [1]. Для підвищення надійності радіозв'язку необхідно здійснювати оперативний радіоконтроль завантаження декаметрового діапазону радіочастот. З цією метою слід із множини РВ, які існують в ефірі, виділити задані.

У декаметровому діапазоні хвиль існує множина РВ, що відрізняються:

- частотою;
- розміщенням джерела в просторі (у ближній зоні – зоні поверхневого поширення електромагнітної хвилі, і в дальній – зоні просторового поширення електромагнітної хвилі);
- видом радіовипромінювання (вид модуляції та маніпуляції, параметри модулюючого сигналу, тощо);
- рівнем сигналу;
- часом появи;
- тривалістю.

У ряді випадків радіоконтролю діапазону частот оперативний інтерес представляють РВ, для яких апіорі відомі:

- вид радіовипромінювання;
- зона розміщення джерела радіовипромінювання (ближня);
- ділянки діапазону або номінали частот, на яких задані РВ не можуть з'явитися.

Аналіз поставленої задачі РК показує, що компромісне рішення може бути отримано при послідовному огляді заданого діапазону з проріджуванням всієї сукупності аналізованих каналів з урахуванням наявної апіорної інформації про задані РВ. Зокрема, ряд частотних каналів не потрібно аналізувати, оскільки в них задані РВ не можуть з'явитися. Крім того, можна виключити з аналізу частотні канали з РВ дальньої зони. Це дозволяє зменшити час послідовного огляду до величини, що визначається заданими обмеженнями на час вирішення завдання виявлення та розпізнавання, що визначаються часом існування РВ.

Необхідність автоматизації та оптимізації радіоконтролю

Потрібно при сформульованих умовах, введеному секторі показників якості та обмеженнях на показник якості оптимізувати систему за сукупністю якості. Особливості вирішуваного завдання такі: передбачається, що відбувається послідовний огляд декаметрового діапазону частот за допомогою автоматизованого панорамного комплексу (РПК) [6 – 8]. При аналізі частотного каналу за сигналами з виходу панорамного приймача має прийматися рішення про наявність чи відсутність одного із заданих РВ. Причому сигнали носять випадковий характер через випадковий в загальному випадку характер повідомлень, що передаються, а також дію перешкод у частотному каналі. Тому завдання прийняття рішення у частотному каналі зводиться до багатоальтернативного виявлення заданих випадкових сигналів за наявності невідомих сигналів. Для проріджування числа аналізованих каналів має бути використана апіорна інформація про характерні особливості заданих РВ.

За умовами завдання багатоальтернативне виявлення заданих РВ повинно проводитись в умовах підвищеної апіорної невизначеності. Зокрема, статистичні характеристики сигналів із виходу РПК апіорі невідомі. Однак можуть бути отримані навчальні вибірки сигналів для заданих РВ. Для інших (невідомих, таких, що заважають) РВ навчальні вибірки неможливо отримати, або вони не є представницькими, тобто вони є недостатніми для синтезу алгоритмів обробки.

При оптимізації структури алгоритмів виявлення має бути враховано сукупність показників якості виявлення та реалізованих витрат з урахуванням використання бортових засобів обчислювальної техніки. Реалізованість засобами обчислювальної техніки забезпечить гнучкість структури отриманих виявників. Для скорочення (проріджування) числа каналів, у яких має проводитися багатоальтернативне виявлення заданих РВ, необхідно

використовувати різні характерні ознаки РВ, що ґрунтуються на обліку апріорних даних про задані РВ (ближня – дальня зона, номінал частоти тощо).

У ряді випадків вирішення поставленої задачі виявлення заданих РВ у частотному каналі виникають ситуації, коли задані РВ свідомо відсутні, і необхідно вирішувати завдання лише виявлення нових (нових, що з'являються на тлі існуючих) РВ з невідомими характеристиками. У деяких працях показано, що з отриманого рішення задачі багатоальтернативного виявлення заданих сигналів за наявності невідомих сигналів як окремий випадок впливає рішення задачі виявлення нових (невдомих) сигналів за умови, що задані сигнали відсутні. На даний час для вирішення задачі виявлення нових РВ використовується енергетичний принцип виявлення. При цьому забезпечується дуже низька можливість правильного виявлення нових РВ (близько 0,3 – 0,4), що не задовольняє реальним вимогам.

Зі змістовної точки зору, завдання розпізнавання заданих РВ може бути сформульоване так: у деяких частотних каналах у невідомий час з'являються задані РВ. Зазвичай у цих каналах діє велике число РВ, зокрема й дуже близьких до заданих, але які не мають оперативного інтересу. Потрібно, аналізуючи конкретний частотний канал, виявити та розпізнати задані РВ. При цьому необхідна автоматизація процесу виявлення та розпізнавання заданих сигналів при підвищенні порівняно з відомими як швидкодії системи, так і якості розпізнавання.

Подібна задача може розглядатися як завдання розпізнавання сигналів в умовах підвищеної апріорної невизначеності, коли розпізнаються M заданих сигналів, а інші сигнали, про які немає достатніх даних для їх відмінності або вони не представляють оперативного інтересу, належать до об'єднаного $M + 1$ – й класу. Це завдання є окремим випадком завдання багатоальтернативного виявлення заданих сигналів [9].

Як показано, розв'язання задачі побудови комплексу радіоконтролю з урахуванням суперечливих обмежень на час вирішення задачі та на апаратні витрати можлива при послідовному огляді декаметрового діапазону частот з проріджуванням потоку аналізованих РВ. При цьому для скорочення часу огляду всього діапазону на аналіз з метою розпізнавання заданих видів РВ надходять не всі виявлені РВ, а тільки ті, що пройшли проріджування за деякими апріорно відомими ознаками РВ, зокрема, таким, як несуча частота, зона розміщення джерела тощо.

Як відомо, внаслідок маневреності та економічності радіоліній у декаметровому діапазоні частот, парк діючих у цьому діапазоні радіостанцій зростає з кожним роком, а частотний радіоспектр залишається незмінно обмеженим. Наприклад, як показано в [1], відсоток однокілогерцевих смуг із середнім рівнем перешкод (під перешкодами в [1] маються на увазі всі радіосигнали, що існують у точці прийому) ≥ 30 дБ для ділянки від 4 до 6 МГц в літньо-осінній період для нічного часу становить 90 %, для ділянки від 12 до 13 МГц – 40 %, а для ділянки від 14 до 15 МГц – 10 %. Якщо в якості аналізованих смуг прийняти не однокілогерцеві, а двокілогерцеві, відсоток двокілогерцевих смуг із середнім рівнем перешкод ≥ 40 дБ буде близько 50 % для всього декаметрового діапазону, тобто для ділянки сумарною шириною 4 МГц (2000 смуг) близько 1000 смуг будуть з перешкод. Апріорно можуть бути відомі до 100 двокілогерцевих смуг, що не становлять оперативного інтересу для вирішення поставленого завдання.

Досліджено в реальних умовах способи проріджування потоку РВ, що надходять на розпізнавання при послідовному огляді декаметрового діапазону частот. Проріджування засноване на ознаках частоти та зони розміщення джерела РВ. Запропоновані способи проріджування дозволяють у кілька десятків разів зменшити потік РВ, що надходять на розпізнавання, і тим самим скоротити час огляду широкого діапазону частот. Методи проріджування, засновані на ознаках зони (ближня зона – зона поверхневого розповсюдження електромагнітної хвилі, дальня – зона просторового розповсюдження електромагнітної хвилі) розміщення джерела РВ, розглянуті у [6 – 8]. Як правило, у точці прийому радіовипромінювань декаметрового діапазону частот, співвідношення кількості

випромінювань дальньої зони до випромінювань ближньої зони становить кілька десятків, і навіть сотень. Якщо оператора цікавлять випромінювання лише ближньої зони, час огляду при автоматичній селекції (дискримінації) випромінювань дальньої зони зменшується майже в стільки ж разів [6].

Класичні задачі виявлення і розпізнавання сигналів

Виявлення та розпізнавання сигналів це важливі задачі обробки сигналів у системах автоматизованого радіоконтролю. Як впливає з проведеного аналізу, ці задачі обробки сигналів вирішуються у складній сигнально-завадовій обстановці. Для спрощення їх вирішення попередньо проводиться селекція РВ за просторовим положенням, частотною ознакою, ознакою новизни і т.д. Це дозволяє проводити аналіз і обробку сигналів в окремих каналах спостереження.

У задачі виявлення сигналів на фоні використовується вирішальне правило

$$\frac{W(\mathbf{x}/s)}{W(\mathbf{x}/0)} \geq h. \quad (1)$$

Тут $W(\mathbf{x}/s)$, $W(\mathbf{x}/0)$ – функції правдоподібності за умови, що сигнал відповідно присутній або відсутній у каналі спостереження; $\mathbf{x}$ – L -мірний вектор представлення спостережень.

У задачі розпізнавання сигналів спостерігається суміш одного з сигналів $s^i(t)$, $i = \overline{1, M}$ із завадою $n(t)$: $x(t) = s^i(t) + n(t)$, $i = \overline{1, M}$. Необхідно прийняти рішення про те, який із сигналів присутній у спостереженні. Для цього використовується вирішальне правило

$$\frac{W(\mathbf{x}/s^i)}{W(\mathbf{x}/s^l)} \geq h_{il}, \quad i, l = \overline{1, M}. \quad (2)$$

У цих правилах порогові значення залежать від обраного критерію оптимальності (байєсовського, ідеального спостерігача, максимальної правдоподібності).

В реальних умовах при обробці сигналів має місце апіорна невизначеність відносно щільностей ймовірності сигналів і завад. При цьому у вирішальних правилах використовуються відповідні оцінки щільності ймовірності розподілів, які отримуються з використанням навчальних вибірок заданих сигналів і завад.

Задачі виявлення та розпізнавання сигналів в умовах підвищеної апіорної невизначеності

Розглянуто класичні задачі виявлення та розпізнавання сигналів неадекватні умовам проведення автоматизованого РК. Для заданих РВ відомі вид та параметри модуляції, вид кодування, характеристики повідомлення, або можуть бути проведені додаткові дослідження з використанням навчальних вибірок відповідних реальних сигналів. Для багатьох інших РВ, що не становлять інтересу для РК, об'єднуються в $M+1$ -й клас. Ймовірнісний опис відповідних їм сигналів відсутній і не можуть бути отримані їх навчальні вибірки. Є лише відомості, що РВ із $M+1$ -го класу відрізняються від заданих РВ.

Специфіка таких задач обробки сигналів така, що виникає необхідність виявляти і розпізнавати задані сигнали на фоні завад при наявності невідомих сигналів, для яких невідомі ймовірнісні характеристики і відсутня можливість отримати їх оцінки. При цьому потрібно виявити і розпізнати задані сигнали, а також віднести в $M+1$ -й клас сигнали, які не цікавлять РК або прийняти рішення, що це нові сигнали і підлягають подальшому аналізу.

Щодо обробки сигналів у каналі спостереження можна ухвалити рішення на користь однієї з гіпотез:

H^i : $x(t) = s^i(t) + n(t)$, $i = \overline{1, M}$ – спостерігається один із заданих сигналів;

H^{M+1} : $x(t) = s^i(t) + n(t)$, $i = \overline{1, M+1}$ – спостерігається сигнал із класу невідомих.

Розглянута задача фактично є задачею розпізнавання M заданих сигналів при наявності $M+1$ -го класу невідомих сигналів. У цій задачі ймовірність помилкових рішень складається з трьох складових: $P_{ош(M)}$ – ймовірності переплутування заданих сигналів між собою, $P_{ош(M+1/M)}$ – ймовірності помилкового прийняття рішень на користь невідомих сигналів при дії одного із M ладанних сигналів, $P_{ош(M/M+1)}$ – ймовірності помилкового прийняття рішень на користь одного із M ладанних сигналів при дії невідомих сигналів.

Нерандомізоване вирішальне правило розпізнавання виконує розбиття вибіркового простору спостереження сигналів на $(M+1)$ -ну області, що не перекриваються. З урахуванням цього перша складова ймовірності помилок за рахунок переплутування M заданих сигналів між собою, друга складова – за рахунок віднесення заданих сигналів до $(M+1)$ -го класу невідомих сигналів, третя складова – за рахунок віднесення сигналів із $(M+1)$ -го класу до одного із M заданих сигналів.

Відповідно до наявної апріорної інформації можна знайти оцінки лише перших двох складових ймовірності похибок. Оцінити величину третьої складової неможливо. Для урахування третьої складової вводиться показник об'єму критичної області відхилення гіпотези H_0 про дію $(M+1)$ -го сигналу. Ця область має сенс власної області M заданих сигналів. Із змістовної точки зору така задача розпізнавання сигналів заключається у прийнятті рішення про дію одного із M заданих сигналів при наявності $(M+1)$ -класу невідомих сигналів.

При вирішенні такої оптимізаційної задачі синтезу методом множників Лагранжа можна отримати наступне вирішальне правило розпізнавання M заданих сигналів при наявності $(M+1)$ -класу невідомих сигналів [13]:

– якщо хоча б для одного значення i ($i = \overline{1, M}$) виконується нерівність

$$P_i W_{\epsilon/H^i}, \alpha^i \geq \lambda^i, \quad (3a)$$

то приймається рішення на користь заданих сигналів;

– якщо при всіх значеннях $i = \overline{1, M}$ виконується нерівність

$$P_i W_{\epsilon/H^i}, \alpha^i < \lambda^i, \quad (3б)$$

то приймається рішення на користь невідомого сигналу із $(M+1)$ -го класу.

На другому етапі при виконанні умови (3a) розпізнаються задані сигнали згідно з наступною системою нерівностей

$$P_i W_{\epsilon/H^i}, \alpha^i \geq P_l W_{\epsilon/H^l}, \alpha^l, \quad l = \overline{1, M}, \quad l \neq i. \quad (3в)$$

Вирішальне правило (3) базується на побудові власних областей окремо для кожного із M заданих сигналів. При отриманні цього вирішального правила не використовується інформація про щільності ймовірностей розподілу сигналів із $(M+1)$ -го класу і не вимагається наявність їх навчальних вибірок.

Постановка і вирішення розглянутої задачі розпізнавання сигналів в умовах підвищеної апріорної невизначеності – це формалізація вимоги про необхідність розпізнати M заданих сигналів і віднести в $(M+1)$ -й клас всі інші сигнали, інформація про які недостатня для їх розпізнавання.

Якщо вводяться втрати лише за рахунок переплутування $(M+1)$ -го сигналу з M заданим (не має значення з яким конкретно), приходять до розрізнення двох гіпотез: H^i – про дію одного із M заданих сигналів; H^0 – про дію $(M+1)$ -го невідомого сигналу. При цьому отримується наступне вирішальне правило виявлення (селекції) M заданих сигналів в умовах підвищеної апріорної невизначеності

$$\begin{aligned} H^0 : \sum_{i=1}^M P_i W(\epsilon / H^i) &\leq \lambda, \\ H^i : \sum_{i=1}^M P_i W(\epsilon / H^i) &> \lambda. \end{aligned} \quad (4)$$

Неважко бачити, що це вирішальне правило можливо використати і для вирішення протилежної задачі – виявлення нових (невідомих) сигналів.

Конкретизація структури наведених вирішувальних правил (3), (4) виконується урахуванням ймовірних моделей, які вибрані для описування сигналів. Це визначає аналітичний вид цільностей розподілу ймовірностей сигналів і завад у вирішальних правилах.

Оптимізація алгоритмів виявлення та розпізнавання сигналів за сукупністю показників якості

При вирішенні задач виявлення та розпізнавання в процесі автоматизованого РК необхідно враховувати сукупність показників якості

$$\vec{k} = (k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6) . \quad (5)$$

Ці показники визначають ймовірності помилкових рішень, зокрема, ймовірності переплутування заданих сигналів між собою, ймовірності помилкового прийняття рішень на користь невідомих сигналів при дії одного із M ладанних сигналів, ймовірності помилкового прийняття рішень на користь одного із M ладанних сигналів при дії невідомих сигналів. а також показників якості, що визначають реалізаційні затрати, зокрема, тривалість прийняття рішень та обчислювальні витрати. Ці показники тісно зв'язані між собою та носять антагоністичний характер, тобто при покращення одних показників інші показники погіршуються.

Для вибору оптимальних алгоритмів виявлення та розпізнавання сигналів слід використовувати основні положення багатокритеріальної оптимізації [14]. При цьому спочатку формується множина допустимих алгоритмів, серед яких у критерійному просторі показників якості (5) за безумовним критерієм переваги видаляються безумовно гірші варіанти і знаходиться підмножина Парето-оптимальних алгоритмів виявлення і розпізнавання сигналів. Для реалізації на практиці може бути вибраний любий із Парето-оптимальних алгоритмів виявлення і розпізнавання сигналів оскільки вони є незрівнянними між собою. Для вибору алгоритму виявлення і розпізнавання сигналів для реалізації може бути використана додаткова експертна інформація, яка враховує відносну важливість показників якості або інша інформація, що є важливою для проведення автоматизованого РК.

Висновки

Проведений аналіз демонструє, що ефективний радіоконтроль декаметрового діапазону є життєво важливим для забезпечення надійності радіозв'язку [10 – 12], проте існуючі методики РК стикаються зі значними обмеженнями швидкодії та ефективності. Основна проблема полягає у необхідності аналізу великої кількості радіовипромінювань, більшість з яких не представляють оперативного інтересу, а також у складності виявлення і розпізнавання короткочасних сигналів.

Запропонований підхід, що базується на використанні апріорної інформації про РВ та проріджування потоку РВ для аналізу, дозволяє значно підвищити швидкість і якість радіоконтролю. Зокрема, використання таких ознак, як несуча частота та зона розміщення джерела (ближня чи дальня), дає змогу істотно скоротити кількість каналів, що підлягають детальному аналізу. Дослідження показали, що автоматична селекція РВ дальньої зони, які становлять переважну більшість, може зменшити час огляду діапазону в десятки або навіть сотні разів.

Розробка алгоритмів виявлення та розпізнавання заданих випадкових сигналів в умовах підвищеної апріорної невизначеності, з урахуванням можливості отримання навчальних

вибір для цільових РВ, є ключовим напрямком для подальшої автоматизації. Це дає можливість виявляти і розпізнавання заданих сигналів при наявності невідомих сигналів і дозволить створити гнучку та високоефективну систему радіоконтролю. Впровадження бортових засобів обчислювальної техніки забезпечить необхідну реалізованість та адаптивність таких систем до динамічних умов декаметрового діапазону.

Список літератури:

1. Комарович В. Ф., Сосунов В. М. Случайные радиопомехи и надежность КВ связи. Москва : Связь, 1977. 135 с.
2. Короткохвильовий радіозв'язок: Настанова. Київ : Центр учбової літ-ри, 2024. 83 с.
3. Заславець В.П., Долина М.П., Чечуй О.В. Особливості розрахунку завадозахищеності ліній радіозв'язку в умовах радіоподавлення (радіоелектронного конфлікту // Системи озброєння і військова техніка. 2020. № 1(61). С. 7–12. <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.61.01>
4. Довідник військового зв'язківця. Засоби радіоелектронної боротьби та розвідки, які використовуються російською федерацією. Київ : ЦУЛ, 2024. 64 с.
5. Майборода І. М., Власов К. В., Глушенко М. О. Застосування і перспективи розвитку мобільних засобів радіоелектронної розвідки тактичної ланки сил сектору безпеки та оборони України // Честь і закон. 2024. № 2 (89). С. 83–90. https://dspace.nlu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/20200/1/Vlasov_83%E2%80%939390.pdf.
6. Обухов Н. П., Кикоть А. В., Голобородько Ю. Н., Горбачинский И. С. Авторское свидетельство № 177720 от 09.04.82 «Устройство автоматического панорамного обнаружения и пеленгования с дискриминацией радиоизлучений источников дальней или ближней зоны».
7. Голобородько Ю. Н., Горбачинский И. С., Авторское свидетельство № 177874 от 01.09.82 «Панорамное приемное устройство с дискриминацией зоны размещения источника».
8. Гурьев В. И., Горбачинский И. С., Голобородько Ю. Н., Авторское свидетельство № 210497 от 26.10.84 «Панорамное радиоприемное устройство для определения зоны нахождения источника радиоизлучения».
9. Omelchenko V. A. Balabanov V. V. Bezruk V. M. Goloborod'ko Ju. N., Detection of Changes in the Random Signal Properties by Spectral Methods Under the Conditions of A Priori Uncertainty // Telecommunications and Radio Engineering. 1999. № 53 (9-10). P. 1–10.
10. Голобородько Ю. Н., Кузнichenko В. С. Перспективи розвитку засобів радіоконтролю // Зб. тез наук.-практ. конф. „Проблеми забезпечення внутрішньої безпеки держави”. Харків, 2005.
11. Молодцов В.А., Писарев А.В., Радченко І.О., Лисенко О.В. Підвищення ролі радіоелектронної боротьби збройних сил США в асиметричних діях повномасштабної мережної війни / Національна академія Національної гвардії України // Молодий вчений. 2022. № 1 (101). С. 128–134. doi: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2022-1-101-27>, <https://molodyivchenyi.ua/index.php/journal/issue/view/38>, (дата звернення: 20.04.2025).
12. Голобородько Ю. М., Захаров В. М., Русинов М. Г., Снігуров А. В., Ніколаєв М. О., Кузнichenko В. С., Повтарев В. І., Комплексна система радіомоніторингу засобів радіозв'язку // Честь і закон. 2005. №3. С.18–22.
13. Безрук В.М., Певцов Г.В. Теоретические основы проектирования систем распознавания сигналов для автоматизированного радиоконтроля. Харьков : Коллегиум, 2007. 430 с.
14. Березовский, Б.А., Барышников Ю.М., Борзенко В.И., Кепнер Л.М. Многокритериальная оптимизация. Математические аспекты. Москва : Наука, 1986. 128 с.

Надійшла до редколегії 11.06.25

Відомості про авторів:

Безрук Валерій Михайлович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, завідувач кафедри інформаційно-мережної інженерії, Україна; email: valerii.bezruk@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5482-9960>

Голобородько Юрій Миколайович – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри безпеки інформаційних технологій, Україна; email: yurii.holoborodko@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4040-9467>

Заболотний Володимир Ілліч – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри безпеки інформаційних технологій, Україна; email: volodymyr.zabolotnyi@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3258-8489>

Скибенко Микола Сергійович – старший викладач кафедри безпеки інформаційних технологій, факультет комп'ютерної інженерії та управління; Харківський національний університет радіоелектроніки; Україна; e-mail: mykola.skybenko@nure.ua, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4838-9329>