

RADIOLOCATION AND RADIONAVIGATION РАДІОЛОКАЦІЯ І РАДІОНАВІГАЦІЯ

УДК 621.396.967.2

DOI: 10.30837/rt.2022.1.208.03

*М.Г. ТКАЧ, І.В. СВИД, канд. техн. наук, О.В. ВОРГУЛЬ, канд. техн. наук,
С.В. СТАРОКОЖЕВ, О.С. МАЛЬЦЕВ, А.О. ГЛУЩЕНКО*

ОЦІНКА ВІДНОСНОЇ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАПИТАЛЬНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

Вступ

Запитальні системи радіолокаційного спостереження повітряного простору, до яких відносяться системи вторинної радіолокації [1-4] та системи ідентифікації повітряних об'єктів за принципом «свій-чужий» [5-8] відіграють істотну роль в інформаційному забезпеченні, як системи контролю повітряного простору [9] і управління повітряного руху [10]. В даний час існують два принципи побудови вищевказаних систем: суміщені та розподілені за частотами запиту та відповіді [11]. Структура запитальних радіолокаційних систем складається з каналу запиту та каналу відповіді, і є двоканальною системою передачі даних [12]. Кожен з каналів передачі даних вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору має певну пропускну здатність [13-16], яка обмежується впливом значної кількості дестабілізуючих факторів, до яких відносяться, як акти несанкціонованого використання літакового відповідача [17] для отримання бортової інформації повітряного об'єкту, так і акти перекручування передаваних польотних даних.

Побудова літакового відповідача запитальних систем радіолокаційного спостереження повітряного простору на принципах відкритої одноканальної системи масового обслуговування з відмовами [18-20], а також використання в якості інформаційних сигналів примітивних інтервально-часових та позиційних кодів [21-23] дозволяє зацікавленій стороні реалізувати несанкціоноване використання літакового відповідача з метою отримання польотної інформації і, навіть, повну паралізацію літакових відповідачів аналізованих систем шляхом випромінювання сигналів запиту необхідної інтенсивності.

Можна стверджувати, що існуючі запитальні системи радіолокаційного спостереження повітряного простору утворені двома каналами передачі даних, пропускну здатність яких значною мірою визначає якість інформаційного забезпечення споживачів системи контролю використання повітряного простору. При цьому слід зазначити, що смуга частот даних систем сильно перевантажена. Це викликає значну щільність внутрісистемних завад як у каналі запиту, так і в каналі відповіді. І це, як наслідок, істотно знижує пропускну здатність [24] систем спостереження.

Про перевантаженість частотного діапазону 1030/1090 МГц аналізованих інформаційних систем і вплив цього на якість передачі даних відзначається, зокрема, в роботах [25-26]. У роботі [26] показано, що у смузі частот 1030/1090 МГц, яка розподілена для спостереження за повітряним рухом, відчуваються значні навантаження, а також представлені альтернативні методи використання змінних потужностей для зменшення навантаження спектру, запропонований метод збільшення пропускну здатності каналу за допомогою інноваційних методів передачі та декодування та показано, що смуга 1090 МГц використовується все більшою кількістю повітряних суден, додатків і типів обладнання і може досягти критичних рівнів внутрісистемних завад. Втрата даних через перекриття повідомлень або спотворень певною мірою допустима у всіх протоколах, але є побоювання, що ця втрата продуктивності незабаром стане неприйнятною, коли щільність повідомлень зросте.

Питанням оцінки пропускну здатності як літакового відповідача, так і всієї запитальної системи радіолокаційного спостереження повітряного простору присвячена значна кількість

робіт [13, 14, 16, 27, 28]. Так, у роботі [27] показано, що відносна пропускна здатність вторинних радіолокаторів значно знижується як за рахунок конструкції вторинного радіолокатора, так і за рахунок принципів обслуговування сигналу запиту в літаковому відповідачі. Проведені розрахунки дозволили оцінити відносну пропускну здатність вторинного радіолокатора, як функцію відносної пропускної здатності літакового відповідача за даними, які, у свою чергу, визначаються інтенсивністю потоків сигналів запиту, навмисних та внутрісистемних завад, щільністю шуму в каналі у відповідь, а також критерієм обробки польотної інформації.

У статті [28] показано, що зважаючи на суттєві недоліки, що існують у запитальних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору, розробка нових запитальних систем спостереження повітряного простору повинна здійснюватися шляхом удосконалення структури форматів сигналів запиту та відповіді, а також використанням шифрування, що дозволить забезпечити крашу практичну продуктивність, високу безпеку та незначні внутрісистемні завади.

Роботи [29-31] присвячені розробці методів підвищення інформаційних можливостей літакових відповідачів запитних систем спостереження повітряного простору та оптимальному виміру параметрів прийнятих сигналів у аналізованих інформаційних системах. Також показано, що підвищення якості інформаційних спроможностей та оптимізації вимірювання параметрів сигналів відповіді можливі шляхом зміни структури сигналів запиту і відповіді, і підвищенням пропускної здатності каналів запиту і відповіді запитальних вторинних радіолокаційних систем.

У представленій роботі розглядається метод підвищення пропускної здатності запитальних вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору, в якому у сигналах запиту і відповіді використовуються широкосмугові сигнали, що дозволяє значно знизити дальність виявлення таких сигналів відповіді з необхідними показниками якості засобами радіорозвідки, що практично виключає можливість зацікавленій стороні використовувати сигнали відповіді літакового відповідача для далекого виявлення повітряних об'єктів і вимірювання їх координат і, як наслідок, дозволяє виключити акт несанкціонованого використання інформації літакового відповідача запитальних систем спостереження повітряного простору зацікавленою стороною, а, отже, підвищити відносну пропускну здатність розглядаємих інформаційних систем.

Метод підвищення пропускної здатності запитальних систем спостереження повітряного простору

Як зазначено вище, існуюча мережа запитувачів та літакових відповідачів запитальних систем спостереження повітряного простору побудована на принципі несинхронної мережі, а сам літаковий відповідач – на принципі відкритої одноканальної системи масового обслуговування з відмовами. Така побудова запитальних систем спостереження повітряного простору виключає різницю між корисними і навмисними завадами і, як наслідок, не дозволяє виключити з обслуговування навмисні корельовані завади якими, зазвичай, виступають діючі сигнали запиту інших запитувачів.

Використання у сигналах відповіді запитальних систем спостереження повітряного простору примітивного кодування і простих прямокутних імпульсів без внутріімпульсної модуляції дозволяють зацікавленій стороні несанкціоноване використання літакових відповідачів, існуючих запитальних систем спостереження повітряного простору з метою отримання інформації (системи радіорозвідки) на значному видаленні. При цьому слід зазначити, що зацікавлена сторона може використовувати не тільки сигнали відповіді літака для оцінки координат повітряного об'єкта [5, 11, 16], а також використовувати несанкціонований запит літака, використовуючи базу діючих сигналів запиту, що дозволяє спростити обчислення координат повітряного об'єкта. Цей режим може бути використаний зацікавленою стороною і з

метою повної паралізації літакового відповідача, що дозволяє здійснити переключування інформації літакового відповідача.

Оцінимо пропускну здатність літакових відповідачів запитальних систем спостереження повітряного простору за критерієм дальності виявлення сигналів відповіді. Система радіотехнічної розвідки здатна вирішити координатну задачу при виявленні на всіх приймальних пунктах одного імпульсу сигналу відповіді. Ці обставини дозволяють зацікавленій стороні здійснювати виявлення не тільки окремих імпульсів сигналу відповіді запитальних систем спостереження повітряного простору, а також сигналу відповіді в цілому, при використанні, наприклад, багатоканальних виявлювачів, за рахунок апріорно відомих сигналів відповіді.

Позначимо довжину електромагнітної хвилі випромінюваного сигналу λ , потужність передавача літакового відповідача P , коефіцієнт підсилення антени літакового відповідача G , ефективну площу приймальної антени A , граничну чутливість приймача P_{\min} . Сигнали літакового відповідача збуджуються у приймальній антені системи радіотехнічної розвідки, що розташована на відстані r від літакового відповідача, щільність потоку потужності електромагнітної хвилі, яка визначається $S_{pr} = PG / 4\pi r^2$. В цьому випадку потужність сигналу на вході приймача без урахування поляризаційних втрат складатиме

$$P_{pr} = S_{pr} A = \frac{PGA}{4\pi r^2}. \quad (1)$$

Для виявлення сигналу відповіді необхідно, щоб відношення сигнал/шум перевищувало граничний рівень. При цьому порогове відношення сигнал/шум можна, як правило, оцінити виходячи з наступного співвідношення

$$q = \sqrt{P_{pr} / N_0}, \quad (2)$$

де $N_0 = kT(K_{ch} - 1)$ – спектральна щільність потужності шумів, k – постійна Больцмана, K_{ch} – коефіцієнт шуму приймача, $T = 290$ К – температура в Кельвінах.

Використовуючи наведені співвідношення (1) і (2) можна оцінити, що дальність виявлення сигналів відповіді типових літакових відповідачів запитальних систем спостереження повітряного простору системою радіотехнічної розвідки становить 360 км. при ймовірності правильного виявлення $D = 0.9$ та ймовірності помилкової тривоги $F = 10^{-6}$, що відповідає дальності прямої видимості на висоті 12,4 км (при висоті підйому антени 10 м). Таким чином, можна зазначити, що зони виявлення сигналів відповіді літакового відповідача запитальних систем спостереження повітряного простору, як правило, обмежуються відстанню прямої видимості й значно перевищують зони виявлення первинних радіолокаторів.

Виходячи з вищевикладеного можна зазначити, що принцип побудови літакового відповідача існуючих запитальних систем спостереження повітряного простору і використовувани інформаційні сигнали дозволяють їх використовувати, як для далекого виявлення повітряного об'єкта, так і для переключування інформації про державну приналежність виявленого повітряного об'єкта постановкою навмисних корельованих завад необхідної інтенсивності.

Оцінка відносної пропускну здатності радіолокаційних систем спостереження повітряного простору при використанні широкосмугових сигналів

Вважатимемо, що сигнали запиту запитальних систем спостереження повітряного простору і сигнали літакового відповідача зазначених інформаційних систем кодуються широкосмуговими сигналами. Вважатимемо, що на вхід відповідача надходять:

- потік сигналів запиту, утворений із сигналів запиту сусідніх запитальних систем спостереження повітряного простору та навмисних корельованих завад, імітованих зацікавленою стороною;
- потік хаотичних імпульсних завад.

Розрахунки відносної пропускної здатності літакового відповідача проведемо при роботі запитальних систем спостереження повітряного простору в режимі ідентифікації повітряних об'єктів для сумарного потоку сигналів неімітостійких та імітостійких режимів роботи. Як показано вище, основний вплив на пропускну здатність запитальних систем спостереження повітряного простору здійснюють ті несприятливі ситуації, які призводять до паралізації відповідача на час прийому та декодування сигналів запиту, формування та випромінювання сигналів відповіді. Тому обмежимо аналіз лише ними.

При надходженні на вхід літакового відповідача сумарного потоку сигналів запиту та хаотичної імпульсної завади літаковий відповідач не сформує сигнали відповіді, якщо складеться хоча б одна з наступних ситуацій:

- сигнал запиту розглядаємого запитувача подавиться через випереджаючі сигнали запиту сусідніх запитувачів або запитувачів зацікавленої сторони, що призводять до спрацьовування схеми подавлення бічних пелюсток або випромінювання сигналу відповіді;

- сигнал запиту розглядаємого запитувача подавиться через випереджаючі помилкові сигнали запиту, утворені в результаті взаємодії першого імпульсу коду запиту розглянутого запитувача з випереджальними на базу коду імпульсами хаотичних імпульсів завад або потоку сигналів запиту (хибні тривоги другого роду), що призводять до спрацьовування схеми подавлення бічних пелюсток або випромінювання сигналу відповіді.

Визначимо ймовірності цих подій у припущенні, що потоки сигналів запиту та хаотичних імпульсних завад незалежні та кількість джерел, які формують загальний потік сигналів запиту, досить велика, що дозволяє вважати його пуассонівським.

Вважатимемо, що на вхід літакового відповідача надходять:

- потік хаотичних імпульсних завад інтенсивністю λ_0 ;
- потік сигналів запиту по основним пелюсткам діаграми спрямованості антени запитувачів інтенсивністю λ_1 ;
- потік сигналів запиту з бокових пелюсток діаграми спрямованості запитувачів інтенсивністю λ_2 .

Припускаємо, що тривалість імпульсів сигналів запиту однакова і дорівнює тривалості імпульсів корисного сигналу τ_0 , а сумарний потік сигналів запиту складається з k_n часток неімітостійкого режиму та $(1 - k_n)$ часток імітостійкого режиму.

Ймовірність того, що хоча б один із сигналів запиту потрапить в випереджальний інтервал і подавить сигнал запиту розглядаємого запитувача за рахунок часу паралізації t_1 літакового відповідача в неімітостійкому режимі під час випромінювання сигналу відповіді літаковим відповідачем визначається:

при дії потоку хаотичних імпульсних завад

$$P_1^1 = 1 - \exp(-\lambda_x t_1), \quad (3)$$

при дії потоку сигналів запиту

$$P_1^2 = 1 - \exp(-k_n \lambda_x t_1), \quad (4)$$

де λ_x – середня кількість хибних n -імпульсних кодів сигналів, які призводять до випромінювання сигналу відповіді; $k_n = \lambda_n / (\lambda_1 + \lambda_2)$ – відносна частка сигналів неімітостійкого режиму потоку сигналів запиту; λ_n – інтенсивність потоку сигналів запиту неімітостійкого режиму.

Середня кількість помилкових n -імпульсних кодів сигналів запиту, які призводять до випромінювання сигналу відповіді, можна оцінити виходячи з наступного співвідношення

$$\lambda_x = \tau_0^n \lambda_0^{n-1} \left(1 - \frac{\tau_s}{\tau_0} \right), \quad (5)$$

де τ_s – задана тривалість імпульсів їхньої часової селекції.

Ймовірність того, що хоча б один сигнал запиту потрапить у випереджальний інтервал і подавить сигнал запиту розглядаємого запитувача через час паралізації t_2 літакового відповідача в імітостійкому режимі за час випромінювання сигналів відповіді визначається: при дії хаотичних імпульсних завад

$$P_1^3 = 1 - \exp(-\lambda_x t_2), \quad (6)$$

при дії потоку сигналів запиту

$$P_1^4 = 1 - \exp(-(1 - k_n)\lambda_1 t_2). \quad (7)$$

У цьому випадку результуюча ймовірність подавлення розглядаємих сигналів запиту через паралізацію літакового відповідача під час випромінювання сигналу відповіді можна оцінити виходячи з наступного співвідношення

$$P_1 = 1 - \prod_{i=1}^4 (1 - P_1^i). \quad (8)$$

Ймовірність того, що хоча б один сигнал запиту надійде в випереджальний інтервал і подавить сигнал запиту розглядаємого запитувача за рахунок часу паралізації t_3 літакового відповідача під час спрацьовування схеми подавлення бічних пелюсток в неімітостійкому режимі визначається:

від хаотичних імпульсних завад

$$P_2^1 = 1 - \exp(-\lambda_x t_3), \quad (9)$$

від потоку сигналів запиту

$$P_2^2 = 1 - \exp(-k_n \lambda_2 t_3). \quad (10)$$

Ймовірність того, що хоча б один сигнал запиту надійде в випереджальний інтервал і подавить сигнал запиту розглянутого запитувача за рахунок часу паралізації t_4 відповідача при спрацьовуванні схеми подавлення бічних пелюсток в імітостійкому режимі визначається відповідно до потоку сигналів запиту:

від хаотичних імпульсних завад

$$P_2^3 = 1 - \exp(-\lambda_x t_4), \quad (11)$$

від потоку сигналів запиту

$$P_2^4 = 1 - \exp(-(1 - k_n)\lambda_2 t_4). \quad (12)$$

Результуюча ймовірність подавлення розглядаємих сигналів запиту через паралізацію відповідача при прийомі сигналів відповіді за бічними пелюстками діаграми спрямованості антени запитувача становить

$$P_2 = 1 - \prod_{i=1}^4 (1 - P_2^i). \quad (13)$$

Сигнали запиту розглядаємого запитувача можуть бути подавлені випереджальними помилковими сигналами запиту, які утворюються в результаті взаємодії першого імпульсу коду запиту з випереджальними імпульсами потоку сигналів запиту і призводять до спрацьовування схеми подавлення бічних пелюсток або випромінювання сигналу. Ймовірність помилкової тривоги другого роду визначається формулою

$$P_3 = (1 - P_{01}) [1 - (1 - P_{10})^{n-1}]. \quad (14)$$

де $P_{01} = 1 - \exp(-\lambda_0 \tau_0)$, $P_{10} = 1 - \exp(-\lambda_0 \tau_p) [1 - \gamma(1 - \exp(1 - \lambda_0 \tau_0))]$, τ_p - час паралізації приймального пристрою після проходження крізь нього імпульсу завади, γ - коефіцієнт, який визначає ймовірність інтерференційного подавлення імпульсу прийнятого сигналу при його збігу в часі з імпульсом завади.

Результуюча ймовірність випромінювання сигналів відповіді літаковим відповідачем на сигнали запиту розглядаємого запитувача становить:

$$\text{при } (\lambda_1 + \lambda_2) < \lambda_M \quad P_0 = \prod_{i=1}^3 (1 - P_i), \quad (15)$$

$$\text{при } (\lambda_1 + \lambda_2) > \lambda_M \quad P_0 = P_{AR} \prod_{i=1}^3 (1 - P_i), \quad (16)$$

де P_{AR} - пропускна здатність літакового відповідача.

Залежності пропускної здатності літакового відповідача від часової бази сигналів відповіді наведено на рис. 1-3.

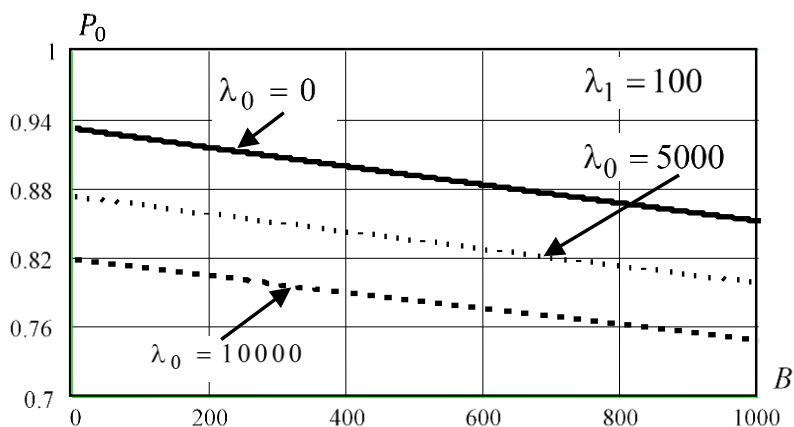


Рис. 1. Вплив бази сигналів відповіді на пропускну здатність літакового відповідача при $\lambda_1 = 100$

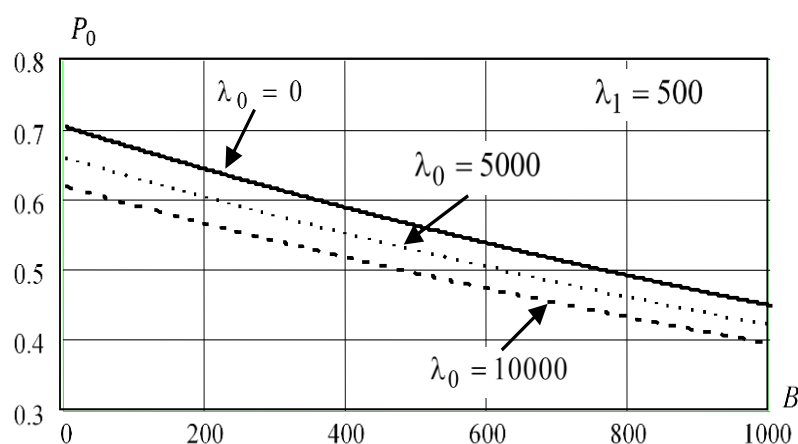


Рис. 2. Вплив бази сигналів відповіді на пропускну здатність літакового відповідача при $\lambda_1 = 500$

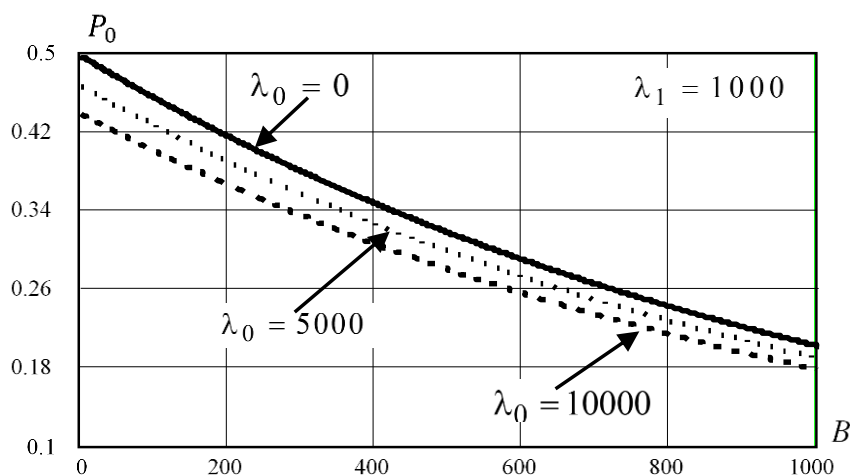


Рис. 3. Вплив бази сигналів відповіді на пропускну здатність літакового відповідача при $\lambda_1 = 1000$

Розрахунки виконані для імітостійкого режиму та фіксованих інтенсивностей потоків сигналів запиту за основними пелюстками діаграми спрямованості антени запитувачів λ_1 і хаотичних імпульсних завад λ_0 за умови, що інтенсивність λ_1 у п'ять разів менше інтенсивності λ_2 потоку сигналів запиту з бокових пелюсток діаграми спрямованості антени запитувача. Наведені залежності дозволяють робити такі висновки:

- збільшення часової бази сигналів відповіді призводить до зменшення пропускну здатності літакового відповідача за будь-яких інтенсивностей потоків сигналів запиту та хаотичних імпульсних завад, що пояснюється зростанням сумарного часу паралізації літакового відповідача при формуванні та випромінюванні тривалих сигналів відповіді;

- в умовах низької інтенсивності потоку сигналів запиту за основними пелюстками діаграми спрямованості антени запитувачів ($\lambda_1 = 100$) збільшення часової бази сигналів відповіді призводить до порівняно незначного зменшення пропускну здатності літакового відповідача. Наприклад, збільшення часової бази сигналів відповіді з 200 до 1000 при $\lambda_0 = 0$ призводить до зменшення пропускну здатності літакового відповідача з 0,92 до 0,86, тобто зменшення в 1,07 рази. Це пояснюється тим, що при незначній інтенсивності потоку сигналів запиту відповідач встигає обслуговувати переважну більшість сигналів запиту;

- за умови інтенсивнішого потоку сигналів запиту збільшення часової бази сигналів відповіді призводить до більш значного зменшення пропускну здатності літакового відповідача. Так, за інтенсивністю потоку сигналів запиту $\lambda_1 = 100$ і відсутність хаотичних імпульсних завад збільшення бази сигналів з 200 до 1000 призводить до зменшення пропускну здатності літакового відповідача з 0,65 до 0,46 (в 1,4 рази), а при інтенсивності $\lambda_1 = 500$ коефіцієнт готовності зменшується з 0,54 до 0,2 (у 2,2 рази);

- збільшення інтенсивності хаотичних імпульсних завад призводить до зменшення пропускну здатності літакового відповідача через утворення помилкових сигналів запиту та паралізації відповідача на час їх обслуговування, у тому числі формування та випромінювання тривалих сигналів відповіді.

Для оцінки відносної пропускну здатності запитальних систем спостереження повітряного простору аналізованою системою вважатимемо, що:

- апаратура обробки сигналів відповіді в запитувачах реалізує алгоритм квазіоптимального виявлення пачки сигналів відповіді;

- відносна пропускну здатність літакового відповідача постійна в межах усієї пачки сигналів відповіді.

При такій постановці питання ймовірність виявлення пачки сигналів відповіді в запитувачі, а отже і виявлення повітряного об'єкта запитальною системою спостереження повітряного простору за логікою « k з m » можна записати як

$$P_c = \sum_{i=k}^m C_m^i P_0^i (1 - P_0)^{m-i}, \quad (17)$$

На рис. 4 і рис. 5 наведено залежності ймовірності виявлення повітряного об'єкта розглянутою запитальною системи спостереження повітряного залежно від часової бази сигналу відповіді у відповідності до виразу (17).

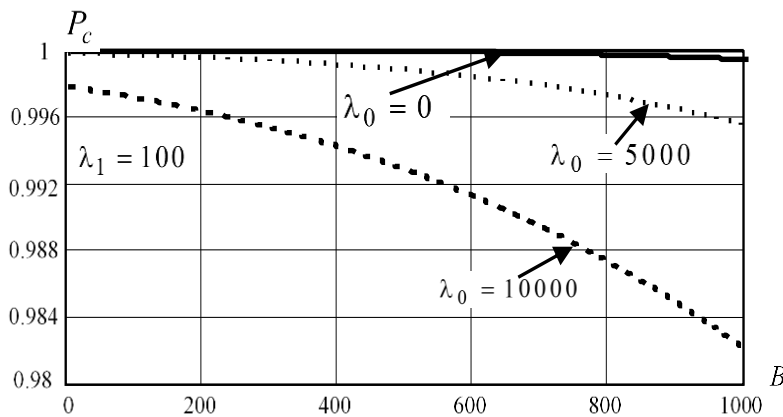


Рис. 4. Вплив бази сигналів відповіді на відносну пропускну здатність запитальних систем спостереження повітряного простору при $\lambda_1 = 100$

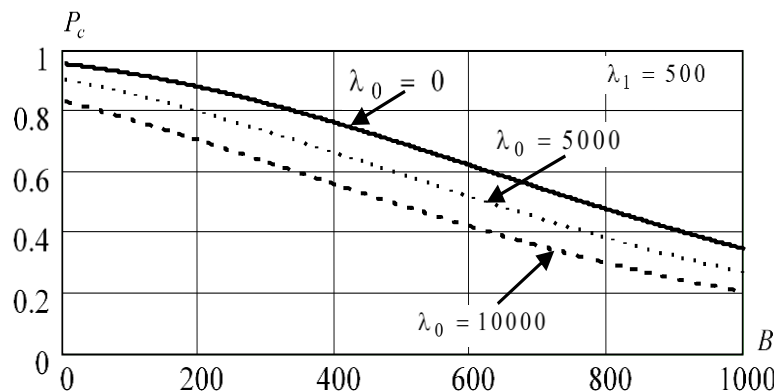


Рис. 5. Вплив бази сигналів відповіді на відносну пропускну здатність запитальних систем спостереження повітряного простору при $\lambda_1 = 500$

Подані залежності показують відносно прийнятні результати ймовірності ідентифікації повітряних об'єктів при використанні широкосмугових сигналів, як сигналів відповіді. Повертаючись до дальності виявлення повітряного об'єкта при використанні широкосмугових сигналів, як сигналів відповіді, можна показати, що при базі використовуємих сигналів відповіді, яка дорівнює 500 дальність виявлення засобами радіорозвідки при зазначених вище параметрах виявлення складе приблизно 16 км.

Висновки

За результатами проведеного дослідження можна зробити наступні висновки:

- спадкоємний перехід від існуючих запитальних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору, у яких використовуються інтервально-часовий та позиційний коди з використанням вузькосмугових сигналів у каналі відповіді, до запитальних систем спостере-

ження повітряного простору, в яких кодування сигналів запиту та відповіді здійснюється ширококутовими сигналами, дозволяє суттєвим чином знизити дальність виявлення зацікавленою стороною таких сигналів відповіді і, як наслідок, виключити акт несанкціонованого використання даних літакового відповідача запитальних систем спостереження повітряного простору зацікавленою стороною;

- виключення можливості несанкціонованого впливу на літаковий відповідач дозволяє виключити акт перекручування інформації запитальних систем спостереження повітряного простору та дозволяє підвищити інформаційну безпеку даних інформаційних систем за рахунок виключення порушення цілісності інформації;

- представлені розрахунки відносної пропускну здатності літакового відповідача запропонованого методу реалізації вторинного радіолокатора та ймовірності ідентифікації повітряних об'єктів загалом показали підвищення ефективності інформаційної безпеки.

Список літератури:

1. X. Du, K. Liao and X. Shen, "Secondary Radar Signal Processing Based on Deep Residual Separable Neural Network", 2020 IEEE International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems (ICPICS), 2020. doi: 10.1109/icpics50287.2020.9202372.
2. G. Jiang, Y. Fan and H. Yuan, "Assessing the Capacity of Air Traffic Control Secondary Surveillance Radar System", 2019 Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC), 2019. doi: 10.1109/csqrwc.2019.8799146.
3. V. Andrushevich and I. Obod, "Assessment of the Quality of Information Support by Air Radar Surveillance Systems", *Advanced Information Systems*, vol. 5, no. 2, pp. 78-82, 2021. Available: 10.20998/2522-9052.2021.2.10.
4. I. Obod, "Integrated Coordinate-and-Time Support for the Address Inquiry in the Secondary Radar Systems", *Telecommunications and Radio Engineering*, vol. 53, no. 3, pp. 54-56, 1999. doi: 10.1615/telecomradeng.v53.i3.100.
5. І. Свид, І. Обод. Завадостійкість радіолокаційних систем ідентифікації за ознакою «свій-чужий». Харків: Друкарня Мадрид, 2021, с. 253. doi: 10/30837/978-617-7988-76-1.
6. P. Poornima, B. Roja Reddy and B. Anantha Murthy, "Design and Simulation of Two-Chain Monopulse Receiver for IFF Radar Application", 2018 3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), 2018. doi: 10.1109/rteict42901.2018.9012646.
7. O. Strelnytskyi, I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, O. Voloshchuk and G. Zavolodko, "Assessment Reliability of Data in the Identification Friend or Foe Systems", 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2019. doi: 10.1109/elnano.2019.8783397.
8. I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, I. Shtykh and G. Zavolodko, "Model and Method for Detecting Request Signals in Identification Friend or Foe Systems", 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), 2019. doi: 10.1109/cadsm.2019.8779322.
9. I. Ashurkov, V. Kakaev and N. Leshko, "Multiposition Radar System Space Structure Optimization", *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy (Information and Control Systems)*, vol. 6, no. 79, pp. 81-85, 2015. doi: 10.15217/issn1684-8853.2015.6.81.
10. W.C. Young; Ming-Ten Tsai; Li-Min Chuang. Air traffic control system management. Proceedings of the IEEE 2000 National Aerospace and Electronics Conference. NAECON 2000. Engineering Tomorrow (Cat. No.00CH37093). doi: 10.1109/NAECON.2000.894952.
11. Маляренко А.С. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания [Справочник], ХУПС, 2007, 78 с.
12. І.І. Обод, В.В. Шевцова, "Порівняльний аналіз запитальних систем передачі інформації системи контролю повітряного простору", *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, № 1(34), 2013, С. 123-125.
13. І.І. Обод, В.В. Шевцова, "Відносна пропускну спроможність запитальних систем передачі інформації системи контролю повітряного простору", *Системи обробки інформації*, № 2(109), 2013, С. 74-76.
14. V. Zhyrnov, S. Solonskaya, and I. Shubin, "Evaluation of radar image processing efficiency based on intelligent analysis of processes", *RT*, vol. 4, no. 207, pp. 83–88, 2021. doi: 10.30837/rt.2021.4.207.09.
15. Обод И.И. Помехоустойчивые системы вторичной радиолокации. М.: ЦИИТ, 1998. 118 с.
16. І.І. Обод, В.В. Шевцова, "Пропускна спроможність відповідачів запитальних систем передачі польотної інформації", *Системи обробки інформації*, № 1(108), 2013, С. 105-108.
17. M. Strohmeier, "Large-Scale Analysis of Aircraft Transponder Data", *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 32, no. 1, pp. 42-44, 2017. doi: 10.1109/maes.2017.160149.
18. Б.В. Бакуменко, І.І. Обод, "Методи підвищення завадозахищеності запитувальних радіотехнічних систем", *Системи обробки інформації*, № 9(58), 2006, С. 10-12.
19. І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич, "Структура та показники якості обробки інформації систем спостереження повітряного простору", *Системи обробки інформації*, № 8 (115), 2013, С. 80-83.

20. I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev and S. Starokozhev, "The Effect of Masking Interference on the Quality of Request Signal Detection in Aircraft Responders of the Identification Friend or Foe Systems", 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 2020. doi: 10.1109/picst51311.2020.9467955.
21. И.И. Обод, "Управление потоками сигналов в несинхронных сетях запросных систем вторичной локации", Радиоэлектроника и информатика, № 2, 1998, С. 4-5.
22. I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, I. Shtykh, G. Zabolodko and G. Maistrenko, "Model and Method for Request Signals Processing of Secondary Surveillance Radar", 2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), 2019. doi: 10.1109/cadsm.2019.8779347.
23. І.І. Обод, І.В. Свид, "Порівняльний аналіз якості виявлення повітряних об'єктів запитальними системами спостереження", Системи обробки інформації, № 9 (90), 2010, С. 74-76.
24. R. Morales-Ferre, P. Richter, E. Falletti, A. de la Fuente and E. S. Lohan, "A Survey on Coping With Intentional Interference in Satellite Navigation for Manned and Unmanned Aircraft," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, no. 1, pp. 249-291, Firstquarter 2020, doi: 10.1109/COMST.2019.2949178.
25. T. Otsuyama, J. Honda, J. Naganawa and H. Miyazaki, "Analysis of signal environment on 1030/1090MHz aeronautical surveillance systems", 2018 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility and 2018 IEEE Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC/APEMC), 2018. doi: 10.1109/isemc.2018.8394048.
26. E. Valovage, "A method to measure the 1090 MHz interference environment", 2009 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference, 2009. doi: 10.1109/icnsurv.2009.5172866.
27. I. Obod, I. Svyd, G. Zabolodko, O. Maltsev, B. Bakumenko and V. Chumak, "Assessing SSR Relative Data Capacity", 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2021. doi: 10.1109/ukrcon53503.2021.9575971.
28. И.И. Обод, "Сравнительная оценка помехоустойчивости несинхронных и синхронных сетей запросных систем вторичной локации", Вестник ХГПУ, № 15, 1998, С. 58-61.
29. И.И. Обод, В.В. Глущенко, И.В. Коваль, "Методы повышения помехоустойчивости самолетных ответчиков запросных систем вторичной локации", Вестник ХГПУ, № 34, 1999, С. 84-86.
30. И.И. Обод, "Повышение эффективности систем управления воздушного движения за счет реализации разнесенных систем вторичной радиолокации", Радиоэлектроника и информатика: науч.-техн. журн., Вып. 1, 1997, С. 63-64.
31. М. Ткач, «Оцінка відносної пропускної здатності літакових відповідачів вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору», Радіотехніка, № 207, 2021, С. 123-131.

Надійшла до редколегії 17.02.2022

Відомості про авторів:

Ткач Марія Геннадіївна – аспірант кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна; email: maria.zavorotna@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4248-7633>

Свид Ірина Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна; email: iryna.svyd@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4635-6542>

Воргуль Олександр Васильович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна; email: oleksandr.vorgul@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7659-8796>

Старокожев Святослав Валерійович – аспірант кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна; email: sviatoslav.starokozhev@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1600-1337>

Мальцев Олександр Сергійович – старший науковий співробітник кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна; email: aleksandr.maltsev@nure.ua; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1520-9280>

Глущенко Артем Олександрович – аспірант кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна; email: artem.hlushchenko@nure.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2197-216X>