УДК 621.396.967.2 **DOI: 10.30837/rt.2022.1.208.05**

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

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ВТОРИННИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Вступ

Інформаційне забезпечення систем контролю повітряного простору та управління повітряного руху [1] значною мірою забезпечується за рахунок вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору [2, 3]. Це обумовлено тим, що вторинні радіолокаційні системи [4, 5] забезпечують як радіолокаційне спостереження за повітряними об'єктами, обладнаними літаковими літакового відповідачами [6], так і забезпечують двосторонню передачу інформації за каналами запиту та відповіді [7, 8], тобто передачу інформації між повітряними об'єктами та наземними вторинними радіолокаційними станціями. До вторинних радіолокаційних систем відносяться вторинні оглядові радіолокатори [9-12] та системи ідентифікації за ознакою «свій-чужий» [13-18]. При цьому слід зазначити, що у теперішній час існують два принципу побудови зазначених інформаційних систем [19]. Перший принцип передбачає єдиний частотний діапазон роботи зазначених інформаційних систем – це 1030 МГц для передачі сигналів запиту, а 1090 МГц для передачі сигналів відповіді. Для другого принципу характерне те, що частотний діапазон роботи систем ідентифікації за ознакою «свій-чужий» використовує передачу сигналів запиту на частоті 1532 МГц, а для передачі сигналів відповіді використовує частотні діапазоні 1452 МГц та 1470 МГц [19].

Однак можливо стверджувати, що розглядаємі вторинні радіолокаційні системи за принципом побудови є двочастотною системою передачі інформації [20, 21]. Вторинні радіолокаційні системи мають режими роботи 1, 2, 3, 4 та 5 (для військового призначення) та A, B, C, D та S (для цивільного призначення). Однак режим 4, в теперішній час не схвалений для використання в військовій сфері, а режим 5 є беззапитальним та більш безпечним. При цьому слід зазначити, що основні концепції режиму S були воєнізовані як режим 5 [22], який являє собою просто криптографічно закодовану версію даних режиму S та ADS-B [23].

При цьому можливо стверджувати, що найбільш вразливим місцем у інформаційних системах, що розглядаються є літаковий відповідач [24-27]. Так, побудова літакового відповідача за принципом одноканальної відкритої системи масового обслуговування з відмовами призводить до повної паралізації останнього при постановці потоків внутрісистемних і навмисних корельованих завад в каналі запиту потрібної інтенсивності. Таким чином, побудова літакового відповідача викликає суттєві недоліки в інформаційній безпеці як його, так і безпеки всієї розглядаємої системи. Це зазначається в значній кількості робіт, зокрема в [28-32]. Крім того, використання єдиної частоти у каналі запиту в розглядаємих радіолокаційних системах призводить до високої щільності сигналів запиту і, як наслідок, до внутрісистемних завад значної інтенсивності [32-35]. Зазначені фактори призводять як до зниження якості обробки сигнальних даних і пропускної спроможності літакового відповідача [36-38], так і до суттєвого зниження завадостійкості [39-43] інформаційних систем спостереження повітряного простору, що розглядаються.

Метою даної роботи є оцінка завадостійкості каналів передачі як сигналів запиту, так і сигналів відповіді вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору.

Оцінка завадостійкості каналу передачі сигналів запиту вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору

У якості завадостійкості каналу передачі сигналів запиту вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору може розглядатися коефіцієнт готовності літакового відповідача [12], що є відносною пропускною здатністю літакового відповідача [32, 33].

Оцінка коефіцієнта готовності літакового відповідача при роботі в режимах ідентифікації повітряних об'єктів розглянуті в роботі [20]. Проведемо оцінку завадостійкості каналів передачі польотної інформації при роботі в режимі управління повітряного руху. Із принципу функціонування існуючих вторинних радіолокаційних систем можливо заключити, що обмін інформацією запитувачі й відповідачі можуть робити, працюючи в неімітостійкому або імітостійкому режимах, а також у режимі запиту й видачі додаткової польотної інформації (бортового номера, висоти польоту, запасу палива) [19]. Потоки сигналів запиту цих режимів утворюють сумарний потік сигналів запиту, що надходить на вхід літакових відповідачів. Крім цього, на вхід літакових відповідачів надходить потік сигналів, випромінених за бічними пелюстками діаграми спрямованості антени запитувача, а також потоки навмисної некорельованої імпульсної завади й несанкціонованих сигналів запиту, сформованих зацікавленою стороною, структура яких подібна до сигналів запиту своїх засобів вторинних радіолокаційних систем. На виході літакового відповідача при цьому формується потік сигналів відповіді на запити в імітостійкому і неімітостійкому режимах і потік сигналів відповіді польотної інформації, а на виході запитувача потік сигналів виявлення повітряних об'єктів й польотної інформації.

Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок, що сумарний потік сигналів запиту, що надходять на вхід літакового відповідача можна представити у вигляді наступного виразу

$$\lambda_{pi} = \sum_{i=1}^{I} \lambda_i + \sum_{j=1}^{J} \lambda_j + \lambda_0 + \sum_{k=1}^{K} \lambda_k \ , \qquad (1)$$

де λ_i – інтенсивність потоку сигналів запиту, які випромінюють свої вторинні радіолокаційні системи за основною пелюсткою діаграми спрямованості антени запитувача (загальна кількість таких вторинних радіолокаційних систем I); λ_j – інтенсивність потоку сигналів запиту, які випромінюють сусідні вторинні радіолокаційні системи за бічними пелюстками діаграми спрямованості антени запитувача (загальна кількість таких систем J); λ_0 – інтенсивність некорельованих імпульсних завад; λ_k – інтенсивність потоку сигналів запиту несанкціонованого використання літакових відповідачів зацікавленою стороною (загальна кількість запитувачів зацікавленою стороною K).

Проведемо дослідження завадостійкості літакового відповідача вторинних радіолокаційних систем у вигляді відкритої одноканальної системи масового обслуговування з відмовами при спільній дії на його вході потоку сигналів запиту і потоку сигналів запиту, навмисних корельованих і некорельованих завад [19, 24].

При цьому слід зазначити, що частотний діапазон роботи вторинних радіолокаційних систем відомий і перебудові не підлягає. Це дозволяє іншій стороні легко ставити навмисні завади вторинним радіолокаційним системам з метою отримання несанкціонованого доступу до інформації літакового відповідача, а також для повної паралізації літакового відповідача.

Найбільш ефективною завадою для подавлення вторинних радіолокаційних систем є навмисна корельована завада, тобто завада аналогічна за структурою сигналам запиту своїх запитувачів. Все це приводить до небажаних явищ роботи літакового відповідача вторинних радіолокаційних систем.

Розглянемо вплив потоку сигналів запиту і навмисних корельованих і некорельованих завад на коефіцієнт готовності літакового відповідача вторинних радіолокаційних систем при передачі польотної інформації в режимі управління повітряного руху. При дослідженні коефіцієнта готовності літакового відповідача будемо також ураховувати ймовірності обслуговування сигналів запиту. Як математичну модель потоку завад та сигналів будемо розглядати розподіл Пуассона.

При дії на вході літакового відповідача одночасно завад та потоку сигналів запиту будуть спостерігатися наступні небажані явища, які приводять до неможливості формування сигналів відповіді:

- подавлення кодів запиту і запитів польотної інформації даного запитувача через появу випереджальних кодів запиту своїх запитувачів, а також запитувачів зацікавленої сторони, що несанкціоновано використовують відповідач;
- високочастотне подавлення імпульсів кодів запиту даного запитувача при збігу за часом імпульсів завади й потоку сигналів запиту в несприятливих фазових співвідношеннях;
- подавлення кодів запиту даного запитувача через появу випереджальних хибних кодів запиту, що утворяться в результаті взаємодії першого імпульсу коду запиту даного запитувача з випереджальними (на базу коду) імпульсами завад або потоку сигналів запиту, що викликає випромінювання коду відповіді або спрацьовування схеми подавлення бокових пелюсток (фіктивна тривога другого роду);
- подавлення запиту в результаті інерційності схем вхідних формувачів дешифратора й обмеження завантаження літакового відповідача.

Визначимо ймовірності цих подій у припущенні, що імпульси завади й потоку сигналів запиту діють на запитальні коди даного запитувача незалежно друг від друга.

Будемо враховувати, що на вході літакового відповідача присутні:

- навмисна некорельована завада із сумарною інтенсивністю λ_0;
- потік сигналів запиту, що викликає випромінювання кодів відповіді в імітостійкому та неімітостійкому режимах і режимі передачі польотної інформації λ_1;
- потік сигналів запиту, що викликає спрацьовування схеми подавлення бокових пелюсток, інтенсивністю λ_2.

При цьому будемо вважати, що тривалість імпульсів потоків завади й потоку сигналів запиту однакова й дорівнює тривалості імпульсів корисного сигналу τ_0.

Спільна дія завад та потоку сигналів запиту приводить до високочастотного подавлення окремих імпульсів потоку сигналів запиту при несприятливих фазових співвідношеннях, у результаті чого зменшується інтенсивність потоку сигналів запиту. Імовірність того, що хоча б один імпульс завади збіжиться з імпульсом потоку сигналів запиту і подавить його можна визначити з наступного співвідношення

$$P_p = \gamma[1 - \exp(-\lambda_0 \tau_0)]. \tag{2}$$

Виходячи із цього, потік кодів запиту з урахуванням високочастотного подавлення, що викликає випромінювання кодів відповіді, може бути визначений як:

$$\lambda_{11} = \lambda_1 (1 - P_p)^n, \tag{3}$$

а зумовлюючих спрацьовування схеми подавлення бокових пелюсток, можна визначений як:

$$\lambda_{12} = \lambda_2 (1 - P_p)^n. \tag{4}$$

Як вказувалося вище, запитальний сигнал не може бути обслугований у той момент часу коли, відповідач зайнятий обслуговуванням іншого сигналу запиту, отже, імовірність подавлення або неможливості обслуговування чергового запиту буде визначатися часом паралізації літакового відповідача зайнятого обслуговуванням іншого запитального сигналу. Час паралізації літакового відповідача буде залежати від режимів роботи системи запиту-відповіді.

Імовірності того, що хоча б один код запиту потрапить у випереджальний інтервал і подавить запит даного запитувача за рахунок часу паралізації літакового відповідача t_1 й t_2 при випромінюванні коду відповіді, визначаються відповідно:

- при утворені із завад хибного коду запиту (хибних кодів запиту) неімітостійкого режиму

$$P_{11} = 1 - \exp(-\lambda p \cdot t_1), \quad (5)$$

де t_1 – час паралізації літакового відповідача при обслуговуванні коду запиту неімітостійкого режиму,

- при утворенні із завад хибних кодів запиту імітостійкого режиму

$$P_{12} = 1 - \exp(-\lambda_p \cdot t_2), \quad (6)$$

де λ_p – середнє число хибних кодів запиту, що утворилися з завад і викликають випромінювання коду відповіді, визначаємо як [19]

$$\lambda_p = n\lambda_0^{\,n}(\tau_0 - \tau_s)^{n-1}, \quad (7)$$

де n – кількість імпульсів коду запиту (значність коду); τ_s – задана величина селекції імпульсів за тривалістю; t_2 – час паралізації літакового відповідача при обслуговуванні коду сигналу запиту імітостійкого режиму;

- при впливі потоку сигналів запиту неімітостійкого режиму

$$P_{13} = 1 - \exp(-q_1 \cdot \lambda_{11} \cdot t_1), \quad (8)$$

- при впливі потоку сигналів запиту імітостійкого режиму

$$P_{14} = 1 - \exp(-q_2 \cdot \lambda_{11} \cdot t_2), \quad (9)$$

де q – коефіцієнт, що характеризує внесок у загальний потік сигналів запиту кодів запиту відповідного режиму.

Сумарна ймовірність того, що хоча б один сигнал запиту потрапить у випереджальний інтервал і подавить запит даного запитувача за рахунок часу паралізації літакового відповідача t_1, при випромінюванні сигналу відповіді в неімітостійкому режимі, визначається як:

$$P_{1n} = 1 - (1 - P_{11})(1 - P_{13}). \quad (10)$$

Сумарна ймовірність того, що хоча б один сигнал запиту потрапить у випереджальний інтервал і подавить запит даного запитувача за рахунок часу паралізації літакового відповідача t_2 при випромінюванні сигналу відповіді в імітостойкому режимі, визначається як:

$$P_{1i} = 1 - (1 - P_{12})(1 - P_{14}). \quad (11)$$

Імовірності того, що хоча б один сигнал запиту потрапить у випереджальний інтервал і подавить сигнал запиту даного запитувача за рахунок часу паралізації $t_3 \approx t_4$ при спрацьовуванні схеми подавлення бокових пелюсток, визначаються відповідно:

- при утворенні із завад хибних кодів запиту неімітостійкого режиму

$$P_{21} = 1 - \exp(-\lambda p \cdot t_3), \quad (12)$$

- при утворенні з завад хибних кодів запиту імітостійкого режиму

$$P_{22} = 1 - \exp(-\lambda p \cdot t_4), \quad (13)$$

- при впливі потоку сигналів запиту неімітостійкого режиму

$$P_{23} = 1 - \exp(-q_1 \cdot \lambda_{12} \cdot t_3), \quad (14)$$

- при впливі потоку сигналів запиту імітостійкого режиму

$$P_{24} = 1 - \exp(-q_2 \cdot \lambda_{12} \cdot t_4), \quad (15)$$

де t_3, t_4 – час паралізації літакового відповідача при спрацьовуванні схеми подавлення бокових пелюсток у неімітостійкому та імітостійкому режимах.

Сумарна ймовірність подавлення кодів запиту даного запитувача, зумовлена часом паралізації літакового відповідача при спрацьовуванні схеми подавлення бокових пелюсток становить:

- у неімітостійкому режимі

$$P_{2n} = 1 - (1 - P_{21})(1 - P_{23}), \tag{16}$$

- в імітостійкому режимі

$$P_{2i} = 1 - (1 - P_{22})(1 - P_{24}). \tag{17}$$

Імовірності того, що хоча б один запит польотної інформації потрапить у випереджальний інтервал і подавить запит даного запитувача за рахунок часу t_5 при передачі польотної інформації, визначаються відповідно:

- при утворенні хибних кодів запиту із завад

$$P_{31} = 1 - \exp(-\lambda_p \cdot t_5), \tag{18}$$

- при впливі потоку сигналів запит

$$P_{32} = 1 - \exp(-(q_3 \cdot \lambda_{11}) \cdot t_5). \tag{19}$$

Сумарна ймовірність подавлення кодів запиту даного запитувача за рахунок часу паралізації літакового відповідача при передачі польотної інформації визначається як:

$$P_{31} = 1 - \exp(-\lambda_p \cdot t_5). \tag{20}$$

Імовірність того, що хоча б один імпульс із потоку навмисної некорельованої завади й потоку сигналів запиту накладеться на імпульс коду запиту даного запитувача й подавить його, становить

$$P_{10} = \gamma[1 - \exp(-\lambda_c \tau_0)], \tag{21}$$

а величина сумарного потоку визначається як

$$\lambda_c = \lambda_{11} + \lambda_{12} + \lambda_0. \tag{22}$$

З урахуванням n-імпульсів коду запиту ймовірність подавлення сигналу запиту буде становити

$$P_4 = 1 - (1 - P_{10})^n. \tag{23}$$

Імовірність подавлення кодів запиту даного запитувача через появу випереджальних хибних кодів запиту, що утворяться в результаті взаємодії першого імпульсу коду запиту розглядаємого запитувача з випереджальними імпульсами завад або потоку сигналів запиту та призведе до випромінювання сигналу відповіді або спрацьовування схеми подавлення бокових пелюсток, визначається як:

$$P_5 = (1 - P_{10})^n [1 - (1 - P_{10})^{n-1}], \tag{24}$$

другий співмножник у цьому виразі враховує можливі ситуації утворення хибних випереджальних кодів запиту: n-імпульсів коду сигналу запиту, що приводять до випромінювання сигналу відповіді; $(n-1)$-імпульсів коду сигналу запиту, що приводять до випромінювання сигналу відповіді або спрацьовуванню схеми подавлення бокових пелюсток.

Імовірність появи на позиції сигналу помилкового імпульсу подавлення, що утворився із завад, визначається як

$$P_6 = (1 - P_{10})^n P_{01}^{n-1}, \tag{25}$$

де в свою чергу імовірність P_{01} можливо визначити як

$$P_{01} = 1 - \exp(-\lambda_0 \cdot \tau_0). \tag{26}$$

Імовірність подавлення кодів запиту внаслідок інерційності вхідних формувачів літакового відповідача може бути визначена як

$$P_7 = 1 - (1 - P_f)^n, \tag{27}$$

де P_f – імовірність подавлення одиночного імпульсу коду запиту з-за інерційності формувача.

Імовірність того, що хоча б один імпульс завади потрапить у випереджальний небезпечний інтервал і подавить імпульс корисного сигналу, становить

$$P_f = 1 - \exp(-\lambda_c \tau_f). \tag{28}$$

Імовірність передачі сигналу відповіді польотної інформації на запит даного запитувача буде відповідно складати

$$P_0 = \prod_{i=1}^{7} (1 - P_i). \tag{29}$$

Імовірність обслуговування сигналів запиту польотної інформації (коефіцієнт готовності літакового відповідача чи відносна пропускна спроможність літакового відповідача) можна визначити із наступного виразу:

$$P_{0i} = P_0 / g, \tag{30}$$

де $g = 2{,}8...3{,}2$ – коефіцієнт розрядки літакових відповідачів, що використовується для зменшення імовірності накладення сигналів відповіді польотної інформації від повітряних об'єктів, що знаходяться на одному азимуті з-за значної часової бази сигналів відповіді. Оцінку коефіцієнту готовності літакових відповідачів у режимі передачі польотної інформації представлено на рис. 1 та рис. 2.

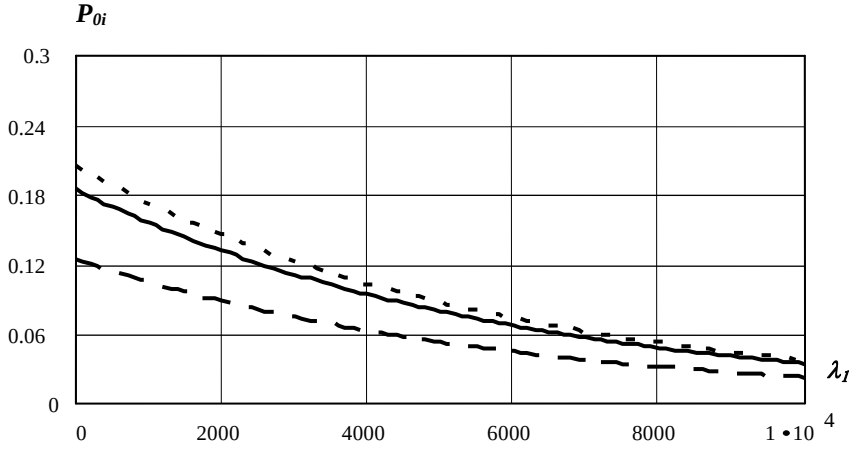

Рис. 1. Коефіцієнт готовності літакового відповідача при передачі польотної інформації в режимі управління повітряного руху q_1=0,5; q_2=0,4; q_3=0,1

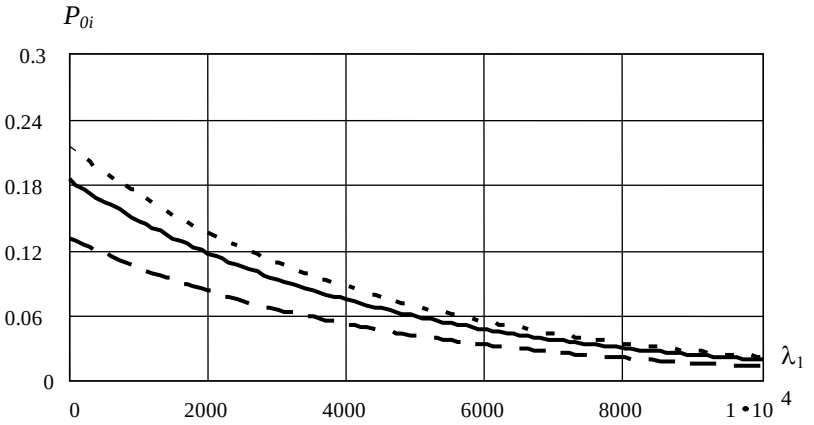

Рис. 2. Коефіцієнт готовності літакового відповідача при передачі польотної інформації в режимі управління повітряного руху q_1=0,3; q_2=0,4; q_3=0,3

Значення коефіцієнта готовності літакового відповідача були отримані для інтенсивності потоку сигналів запиту, що викликає спрацьовування схеми подавлення бокових пелюсток, у п'ять разів більшою за інтенсивність потоку сигналів запиту за основними пелюстками діаграми спрямованості антени, що приводить до випромінювання сигналів відповіді.

Для розрахунків були обрані наступні інтенсивності завади, що діють в каналі запиту: $\lambda_0 = 20 \cdot 10^3$, $\lambda_0 = 50 \cdot 10^3$, $\lambda_0 = 100 \cdot 10^3$. Крім того, ураховувалось те, що загальний вхідний потік сигналів запиту складається з сумарного потоку неімітостійкого режиму (q_1), імітостійкого режиму (q_2) та запиту польотної інформації - (q_3).

Як видно з представлених залежностей імовірність передачі польотної інформації на конкретний сигналів запиту є незначною. При збільшенні числа сигналів запиту польотної інформації в загальному потоці сигналів запиту імовірність їхнього обслуговування зменшується.

Оцінка завадостійкості каналу відповіді для режиму управління повітряного руху вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору

Як видно з отриманих результатів, коефіцієнт готовності літакових відповідачів в режимі передачі польотної інформації виявляється незначним. У зв'язку із цим розглянемо його вплив на загальну імовірність отримання польотної інформації з урахуванням обробки її в наземній апаратурі та наявності у каналі відповіді навмисних некорельованих (хаотично імпульсних) завад.

У каналі відповіді вторинних радіолокаційних систем інформаційний код управління повітряного руху [19], при передачі польотної інформації передається кодованими сигналами координатної мітки й польотної інформації (45-імпульсний позиційний код). До складу кодової посилки відповіді польотної інформації входять:

- 2-імпульсний код координатної мітки;
- 3-імпульсний код ознаки переданої інформації (бортового номера, висоти польоту, запасу палива);
- 20 двійкових розрядів польотної інформації.

Таки чином, при впливі завад у каналі відповіді, можуть виникати спотворення польотної інформації, що передається внаслідок подавлення частини імпульсів сигналу відповіді. Для отримання польотної інформації необхідною умовою є декодування імпульсів синхрогрупи, що складається з 2-х імпульсів координатного коду й 3-х імпульсів ознаки польотної інформації, що передається. У зв'язку з цим визначимо імовірність декодування й проходження імпульсів синхрогрупи з урахуванням подавлення хоча б одного імпульсу внаслідок впливу навмисної некорельованої завади.

Для каналу відповіді імовірність високочастотного подавлення імпульсу корисного сигналу навмисною некорельованою завадою за розподілом Пуассона може бути визначена у відповідності за наступним математичним виразом

$$P_{10} = \gamma[1 - \exp(-\lambda_0 \tau_0)]. \tag{31}$$

Імовірність вірного прийому імпульсів синхрогрупи з урахуванням можливості подавлення хоча б одного з них буде визначатися як

$$P_{pi} = 1 - \sum_{i=1}^{n} C_n^i (1 - P_{10})^i P_{10}^{n-i}, \tag{32}$$

де n – число часових позицій імпульсів синхрогрупи; i – число часових позицій, які можуть бути подавлені завадою; C_n^i – число сполучень із n по i.

З урахуванням коефіцієнту готовності літакових відповідачів імовірність проходження декількох видів польотної інформації при отриманні пачки сигналів відповіді можна визначити як

$$P_{pi1} = \left[\sum_{i=1}^{M} C_M^i (P_{oi} P_{pi})^i (1 - P_{oi} P_{pi})^{M-i} \right]^V, \tag{33}$$

де M – число імпульсів у пачці; V – число видів польотної інформації.

Залежності, отримані відповідно до виразу (33), представлені на рис. 3 і рис. 4. Як видно з представлених залежностей, імовірність отримання польотної інформації режиму управління повітряного руху є незначною. При зменшенні кількості кодів відповіді у пачці імовірність отримання польотної інформації зменшується.

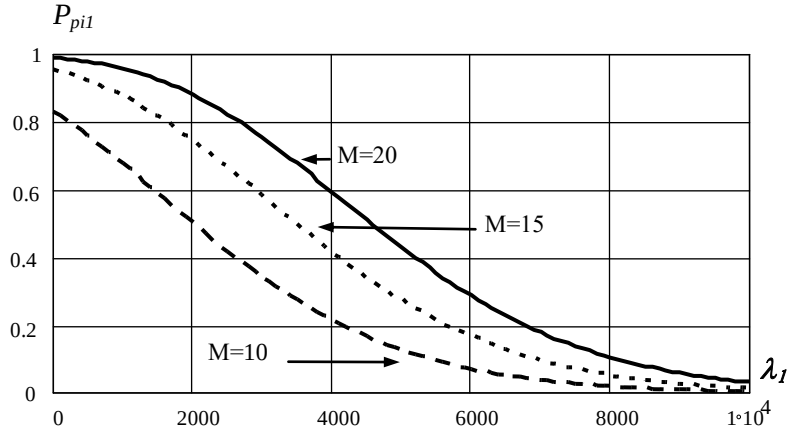

Рис. 3. Імовірність отримання польотної інформації режиму управління повітряного руху при $\lambda_0 = 20 \cdot 10^3$ у каналі запиту

Розрахунки зроблені для $V = 3$, а так само з урахуванням імовірності обслуговування коду запиту польотної інформації, отриманого вище та інтенсивності навмисної некорельованої завади у каналі відповіді $\lambda_0 = 50 \cdot 10^3$.

З проведених досліджень видно, що значний час паралізації літакового відповідача й наявність розрядки при обслуговуванні коду запиту польотної інформації веде до істотного зниження коефіцієнту готовності літакових відповідачів в умовах високої щільності потоку сигналів запиту і завад, що у свою чергу впливає на імовірності отримання польотної інформації на наземній апаратурі.

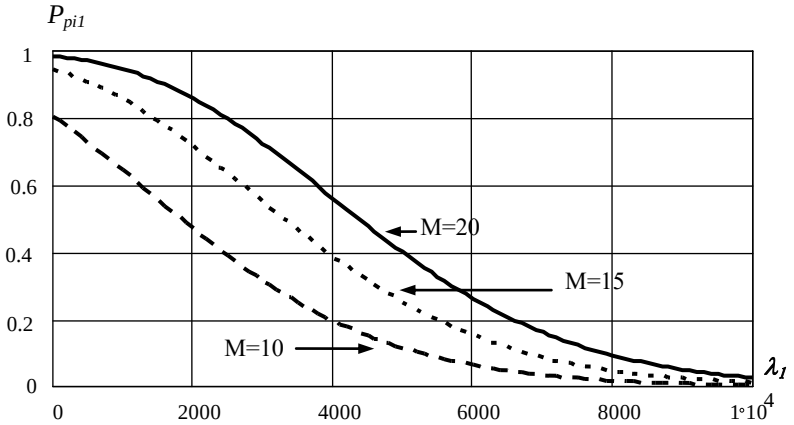

Рис. 4. Імовірність отримання польотної інформації режиму управління повітряного руху при $\lambda_0=50\cdot10^3$ у каналі запиту

Висновки

За результатами проведеного дослідження можна зробити наступні висновки: розроблено методику оцінки завадостійкості каналів передачі польотної інформації в існуючих запитальних радіолокаційних системах спостереження повітряного простору у режимі управління повітряного руху, яка містить оцінку завадостійкості каналу запиту при дії потоків сигналів запиту різних режимів сусідніх запитальних радіолокаційних систем, випроменених як за основними пелюстками діаграми спрямованості антени запитувача, так і за бічним, а також потоку навмисних корельованих і некорельованих завад, а також і оцінку завадостійкості каналу відповіді (передачі польотної інформації) з урахуванням дії у каналі відповіді потоків сигналів відповіді та потоків навмисних некорельованих завад.

Як показали розрахунки, за розробленою методикою, імовірність отримання польотної інформації при дії в каналі запиту корельованих завад інтенсивністю 10 кГц для режиму управління повітряного руху становить усього 0,05 при пачці сигналів відповіді що дорівнює 20.

Показано, що принцип побудови літакового відповідача (відкрита система масового обслуговування з відмовами) та принцип обслуговування сигналів запиту передачі інформації (перший прийнятий) не дозволяють забезпечити допустимі ймовірності отримання польотної інформації.

Наведені розрахунки показують, що при модернізації запитальних систем радіолокаційного спостереження повітряного простору можливо збільшити розрядність передачі польотної інформації з борта повітряного об’єкта на наземні пункти управління.

Список літератури:

1. G. Benelli, D. Giuli, E. Mese and S. Pardini, "Characterization of ATC environment for performance evaluation of modern SSR systems", 29th IEEE Vehicular Technology Conference, 1979. doi: 10.1109/vtc.1979.1622720.

2. Обод И.И. Помехоустойчивые системы вторичной радиолокации. М.: ЦИНТ, 1998. 118 с.

3. Ткачев В.В., Даник Ю.Г., Жуков С.А., Обод І.І., Романенко І.О. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління польотами авіації та протиповітряної оборони. Київ: МОУ, 2004. 342 с.

4. E. Kim and K. Sivits, "Blended secondary surveillance radar solutions to improve air traffic surveillance", Aerospace Science and Technology, vol. 45, pp. 203-208, 2015. doi: 10.1016/j.ast.2015.05.018.

5. I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, M. Tkach, S. Starokozhev, A. Hlushchenko, V. Chumak, "Method for increasing noise immunity of radar "friend or foe" identification systems under the action of intentional correlated interference", Radiotekhnika, no. 205, pp. 154-160, 2021. doi: 10.30837/rt.2021.2.205.16.

6. 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.

7. І. Обод, О. Стрельницький, "Захист інформації в мережі систем спостереження повітряного простору", Системи обробки інформації, № 2(139), С. 47-49, 2016.

8. І. Обод, В. Шевцова, "Методи підвищення швидкості передачі запитальних систем передачі інформації", Системи обробки інформації, № 4(111), С. 23-26, 2013.

9. 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.

10. I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, I. Shtykh, G. Zavolodko 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.

11. I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev and A. Hlushchenko, "Secondary Surveillance Radar Response Channel Information Security Improvement Method", 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), 2020. doi: 10.1109/dessert50317.2020.9125018.

12. I. Obod, I. Svyd, G. Zavolodko, 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.

13. Обод І.І., Стрельницький О.О., Андрусевич В.А. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору. Харків: ХНУРЕ, 2015. 270 с.

14. I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev, O. Strelnytskyi, O. Zubkov and G. Zavolodko, "Method of Increasing the Identification Friend or Foe Systems Information Security", 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), 2019. doi: 10.1109/aiact.2019.8847853.

15. 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.

16. V. Semenets, I. Svyd, I. Obod, O. Maltsev and M. Tkach, "Quality Assessment of Measuring the Coordinates of Airborne Objects with a Secondary Surveillance Radar", Data-Centric Business and Applications, pp. 105-125, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-71892-3_5.

17. 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.

18. 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.

19. Маляренко А.С. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением и государственного радиолокационного опознавания [Справочник], ХУПС, 2007, 78 с.

20. Б. Бакуменко, І. Обод. "Завадозахищеність запитувальних радіотехнічних систем", Системи озброєння і військова техніка, № 2(6), С. 26-28, 2006.

21. 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.

22. M. Strohmeier, V. Lenders and I. Martinovic, "On the Security of the Automatic Dependent Surveillance-Broadcast Protocol", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 2, pp. 1066-1087, 2015. doi: 10.1109/comst.2014.2365951.

23. L. Kenney, J. Dietrich and J. Woodall, "Secure ATC surveillance for military applications", MILCOM 2008 - 2008 IEEE Military Communications Conference, 2008. doi: 10.1109/milcom.2008.4753368.

24. І. Обод, О. Стрельницький, В. Андрусевич, "Методи підвищення якості інформаційного забезпечення системами спостереження повітряного простору", Системи обробки інформації, № 4(120), С. 53-55, 2014.

25. І. Обод, О. Стрельницький, "Інформаційна безпека інформаційної мережі систем спостереження повітряного простору", Системи обробки інформації, № 9(134), С. 96-98, 2015.

26. I. Obod, I. Svyd, O. Maltsev and B. Bakumenko, "Comparative Analysis of Noise Immunity Systems Identification Friend or Foe", 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 2020. doi: 10.1109/elnano50318.2020.9088856.

27. M. Leonardi and F. Gerardi, "Aircraft Mode S Transponder Fingerprinting for Intrusion Detection", Aerospace, vol. 7, no. 3, p. 30, 2020. Available: 10.3390/aerospace7030030.

28. S. Zhironkin, S. Bliznyuk and A. Kuchin, "Jamming Resistance of the Inbound Channel of an Identification System with Broadband Signals and Error Control Codes in the Conditions of Pulse Noise and Intra-System Jamming", Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, pp. 673-682, 2019. doi: 10.17516/1999-494x-0166.

29. V. Andrusevich 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. doi: 10.20998/2522-9052.2021.2.10.

30. І. Обод, О. Стрельницький, В. Андрусевич, "Порівняльний аналіз двох методів обробки сигналів відповіді запитальних систем спостереження", Системи обробки інформації, № 1(117), С. 41-43, 2014.

31. 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.

32. І.І. Обод, В.В. Шевцова, "Пропускна спроможність відповідачів запитальних систем передачі польотної інформації", Системи обробки інформації, № 1(108), 2013, С. 105-108.

33. І. Обод, В. Шевцова, "Відносна пропускна спроможність запитальних систем передачі інформації системи контроля повітряного простору", Системи обробки інформації, № 2(109), С. 74-76, 2013.

34. I. Svyd, I. Obod and O. Maltsev, "Interference Immunity Assessment Identification Friend or Foe Systems", Data-Centric Business and Applications, pp. 287-306, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-71892-3_12.

35. V. Zhyrnov, S. Solonskaya and V. Zarytskyi, "Method for dealing with non-stationary natural and simulating interference in intellectual surveillance radars", Radiotekhnika, no. 206, pp. 115-121, 2021. doi: 10.30837/rt.2021.3.206.10.

36. N. Kuzmenko and I. Ostroumov, "Performance Analysis of Positioning System by Navigational Aids in Three Dimensional Space," 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/SAIC.2018.8516790.

37. R. Burczyk, K. Cwalina, M. Gajewska, J. Magiera, P. Rajchowski, J. Sadowski, J. Stefanski, "Voice Multilateration System", Sensors, vol. 21, no. 11, p. 3890, 2021. doi: 10.3390/s21113890.

38. И. Обод, А. Шматков, А. Михайлин, "Сравнительный анализ помехоустойчивости способов передачи полетной информации в системах вторичной радиолокации", Вестник ХГПУ, № 125, С. 3-6, 2000.

39. М. Ткач, «Оцінка відносної пропускної здатності літакових відповідачів вторинних радіолокаційних систем спостереження повітряного простору», Радіотехніка, № 207, 2021, С. 123-131. doi: 10.30837/rt.2021.4.207.13.

40. D. Margaria, B. Motella, M. Anghileri, J. -J. Floch, I. Fernandez-Hernandez and M. Paonni, "Signal Structure-Based Authentication for Civil GNSSs: Recent Solutions and Perspectives," in IEEE Signal Processing Magazine, vol. 34, no. 5, pp. 27-37, Sept. 2017, doi: 10.1109/MSP.2017.2715898.

41. J. Guo and X. Zhang, "DME pulse interference mitigation for airborne BDS and flight test results", Advances in Space Research, vol. 63, no. 9, pp. 3043-3052, 2019. doi: 10.1016/j.asr.2018.05.012.

42. 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.

43. W. Song, P. Ju and A. Jin, Protocol Design and Analysis for Cooperative Wireless Networks. Cham: Springer International Publishing, 2017.

Надійшла до редколегії 02.03.2022

Відомості про авторів:

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

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

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

Шевцов Іван Олександрович – асистент кафедри мікропроцесорних технологій і систем, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна; email: ivan.shevtsov@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0597-1589