

УДК 621.396.96

І.І. Обод, В.В. Шевцова

Національний технічний університет «ХПІ»

## МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАЧІ ЗАПИТАЛЬНИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

У статті наводиться класифікація методів підвищення швидкості передачі запитальних систем польотної інформації системи контролю повітряного простору, котрі базуються на спадкоємному переході від обслуговування сигналів запиту до обслуговування абонентів та мережі запитальних систем передачі у цілому. Показано, що такий перехід дозволяє суттєво знизити або зовсім усунути вплив навмисних корельованих завад на швидкість передачі запитальних систем передачі.

**Ключові слова:** швидкість передачі, запитальні системи передачі інформації, польотна інформація.

### Вступ

**Постановка проблеми й аналіз літератури.** Запитальні системи передачі інформації (ЗСП) грають значну роль у інформаційному забезпеченні (ІЗ) системи контролю повітряного простору (ПП) [1]. До основної функції ЗСП належить отримання на пунктах управління польотної інформації (ПІ) з борту повітряного об'єкту (ПО) та ідентифікація ПО. Однак побудова цієї інформаційної системи на принципах систем спостереження (СС), що передбачає вимір координат ПО на запитувачі, як показано у [2], з одного боку та реалізації цієї СС на принципах відкритої одноканальної системи масового обслуговування, обслуговування першого прийнятого сигналу запиту суттєво знижує можливість отримання ПІ [3]. Крім того, як показано в [4], без змін принципів побудови запитального каналу та принципів обслуговування сигналів запиту неможливо досягнути прийнятних ймовірностей ІЗ користувачів. Для зниження негативного впливу завад на якість ІЗ у [5] запропоновано здійснити спадкоємний перехід до запитальних систем передачі ПІ, що дозволяє виключити потребу у обчислюванні координат ПО на запитувачі і, як наслідок, підвищити імовірність ІЗ.

**Мета роботи.** Класифікація методів підвищення швидкості передачі польотної інформації запитальних систем передачі інформації.

### Основна частина

Відомо, що найбільш ефективними завадами для відповідачів ЗСП є [2]:

- внутрісистемні завади;
- навмисні корельовані завади;
- некорельовані завади (НКЗ).

Це обумовлено тим, що існуюча мережа запитувачів та літакових відповідачів (ЛВ) побудована на принципі несинхронній мережі, а сам ЛВ – на принципі одноканальної системи масового обслуговування з відмовами. Вплив потоку сигналів запиту (СЗ) призводить до паралізації ЛВ на час паралізації, який визначається режимом запиту. Зазначимо, що при прийомі СЗ за основною пелюсткою діаграми спрямованості антени (ДСА) запитувача ЛВ повністю паралізується на час обслуговування, при прийомі СЗ по бічних пелюсткам ДСА ЛВ паралізується на час між імпульсом СЗ, амплітуда якого запамятовується і імпульсом подавлення бічних пелюсток (ПБП). НКЗ (навмисна або ненавмисна) впливає на роботу ЛВ двоюко:

- по-перше, подавляє окремі імпульси СЗ, що робить неможливим обслуговування даного СЗ;
- по-друге, паралізує ЛВ через утворення хибних СЗ (хибна тривога першого і другого роду).

Негативний вплив цих видів завад на канали передачі польотної інформації однаковий. Дійсно дія як внутрісистемних, так і навмисних корельованих завад призводить до суттєвого зменшення коефіцієнта готовності ЛВ ( $P_0$ ), що у подальшому призводить до суттєвого зменшення імовірності передачі інформації, тобто швидкості передачі інформації, так як швидкість передачі  $R = f(P_0)$ . Методи захисту від цих завад можуть бути реалізовані тільки зміною принципу системної побудови СС чи зміною прин-

ципу обслуговування сигналів запиту. Однак слід зазначити, що навмисні корельовані завади можуть з'явитися тільки в особливий період, що дає можливість розглядати методи захисту від зазначених завад роздільно.

Це обумовлено наступними причинами. По-перше, при модернізації запитальних СС треба зберегти спадкоємний перехід, тобто неможливо замінити всі запитальні СС одночасно. По-друге зміна принципу побудови чи принципу обслуговування дуже затратна технологія.

Розглянемо методи підвищення завадостійкості запитальних каналів передачі СС повітряного простору, які наводяться на рис. 1.

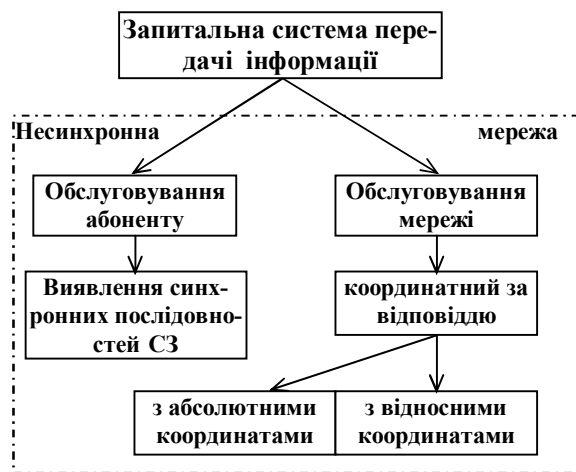


Рис. 1. Методи підвищення завадостійкості запитальних систем передачі інформації

Наведені методи підвищення завадостійкості ЗСПП повітряного простору реалізуються на принципах несинхронної мережі СС. При цьому методи підвищення завадостійкості при реалізації обслуговування абоненту можуть бути використані для захисту ЗСПП від внутрісистемних завад, а також суттєво знижують вплив навмисних корельованих завад, а при реалізації обслуговування мережі – при захисту як від внутрісистемних, так і навмисних корельованих завад.

У ЗСПП із обслуговуванням абонента й реалізованих на принципі відкритої СМО з очікуванням підвищення завадостійкості можна досягти за рахунок виділення синхронних послідовностей, тобто окремих запитувачів. Ця можливість виникає з принципу захисту від внутрісистемних завад, яка закладена у існуючі запитальні СС. Дійсно, для захисту запитальних СС у каналі обробки сигналів відповіді (СВ) реалізують міжперіодну обробку «2 з 2» та обирають період формування СЗ кожної запитальної СС різний. Таким чином, виділивши синхронну послідовність прийому СЗ на ЛВ, можливо визначити скільки абонентів формує СЗ. Ця обставина дозволяє перейти від обслуговування СЗ до обслуговування або-

нентів, що суттєво зменшує інтенсивність формування сигналів відповіді, а також дозволяє виключити з обслуговування ненавмисні корельовані завади та значно зменшити інтенсивність обслуговування навмисних корельованих завад.

Крім того, можливо реалізувати адресний метод при передачі координат відповідача тільки у каналі відповіді. У цьому випадку функціонування каналу запиту запитальних СС не змінюється у порівнянні з існуючими системами. У відповідачах запитальних СС, реалізованої за зазначеним принципом, алгоритм обслуговування СЗ змінюється наступним чином. У відповідачах формується деякий часовий інтервал аналізу  $T_a$ , на протязі якого приймаються СЗ. При закінченні зазначеного часового інтервалу та прийомі на протязі цього часового інтервалу хоча б одного СЗ вилучається сигнал відповіді яким передається як польотна інформація, так і просторові координати відповідача. При цьому просторові координати можуть бути абсолютними чи відносними. У другому випадку зменшується об'єм інформаційної посилки.

Таким чином, реалізація цього методу (адресного по відповіді) також суттєвим чином знижує інтенсивність потоку СВ і робить цю інтенсивність незалежною від інтенсивності потоку СЗ. Дійсно, максимальна інтенсивність потоку СВ у цьому методі визначається як  $\lambda_{\max} = 1/T_a$ . Вона не залежить від інтенсивності потоку СЗ та інтенсивності потоку імітованих СЗ. Оскільки у цьому методі обслуговування здійснюється не окремого СЗ, а усіх СЗ на часовому інтервалі аналізу, то постановка навмисних завад з метою зниження завадостійкості ЛВ становиться недоречною, так як потрібно створити таку ситуацію, при якій неможливо прийняти жодного СЗ на інтервалі аналізу. Це потребує переходу до постановки флуктуаційних завад та значних енергетичних затрат. Так як запит будь-якого запитувача мережі (навіть несанкціонованого запиту зацікавленої сторони) на інтервалі аналізу призводить до формування СВ, у якому закладені координати відповідача, це призводить до переходу від обслуговування СЗ до обслуговування мережі.

Зміна принципу обслуговування абонентів на обслуговування мережі повинна априорно призвести до збільшення завадостійкості ЗСПП повітряного простору. З одного боку, зростає КГ ЛВ через суттєве зменшення інтенсивності потоку СВ, а отже, зменшення часу паралізації ЛВ. З іншого, зменшується імовірність подавлення СЗ даного запитувача імітованими завадами. Дійсно, відповідач формує СВ при виявленні за час аналізу  $T_a$  хоча б одного прийнятого СЗ (навіть імітованого зацікавленою стороною). Тому для подавлення СЗ даного запитувача необхідно створити потужну заваду такої інтенсивності, що не дозволяє прийняти жодного СЗ.

А це потребує постановки флуктуаційних завдань на протязі усього часу спостереження, що потребує значних енергетичних затрат.

Таким чином, методи захисту ЗСПІ СС повітряного простору потребує передачі СВ координатної інформації ЛВ.

Всі запропоновані методи апріорно забезпечують кращу завадостійкість ЛВ і запитальних СС в цілому, ніж існуючі. Дано чисельну оцінку завадостійкості координатного за відповіддю методу.

Проаналізуємо КГ ЛВ та визначимо імовірність виявлення ПО запитальною СС за СВ при спільному впливі ПСЗ і ХІЗ.

При одночасному надходженні на вхід аналізатора СВ ЛВ ХІЗ і ПСЗ можуть спостерігатися такі несприятливі для правильного прийому СЗ ситуації:

- подавлення СЗ даного запитувача через накладення випереджаючих СЗ сусідніх запитальних СС, що призводить до спотворення прийнятого сигналу;
- подавлення СЗ даного запитувача через накладення випереджаючих СЗ сусідніх запитальних СС, випромінюваних по бічним пелюсткам;
- подавлення імпульсів СЗ даного запитувача на високій частоті через збіжність за часом імпульсів ХІЗ і ПСЗ при несприятливих фазових співвідношеннях;
- подавлення СЗ через інерційність схем вхідних формувачів дешифратора.

Наведені ситуації виключають можливість правильного прийому СЗ на інтервалі часу  $T_a$ . Окрім того, наявність ХІЗ призводить до хибного утворення СЗ і випромінювання відповідачем СВ при відсутності дійсних СЗ.

Визначимо імовірності цих подій в припущенні, що ХІЗ і ПСЗ впливають на СЗ даного запитувача незалежно один від одного.

Нехай на вхід ЛВ поступають:

- потік ХІЗ інтенсивністю  $\lambda_0$ ;
- ПСЗ, що випромінює по основним пелюсткам ДС антени запитувача і викликають випромінювання СВ, інтенсивністю  $\lambda_1$ ;
- ПСЗ, випромінює по бічним пелюсткам ДС антени запитувача, інтенсивністю  $\lambda_2$ .

Припустимо, що тривалість імпульсів потоків ХІЗ та СЗ однакова, незмінна за часом і збігається з тривалістю імпульсів корисного сигналу  $\tau_0$ .

Сумісна дія ХІЗ і ПСЗ призводить до високочастотного подавлення окремих імпульсів ХІЗ і ПСЗ при несприятливих фазових співвідношеннях, внаслідок чого інтенсивність потоків ХІЗ і СЗ зменшується.

Імовірність того, що хоча б один імпульс ХІЗ збіжиться за часом з імпульсом ПСЗ і подавить його, становить

$$P_p = \gamma [1 - \exp(-\lambda_0 \tau_0)],$$

що призводить до зменшення інтенсивностей  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  потоків СЗ:

$$\lambda_1^1 = \lambda_1(1 - P_p)^n, \quad \lambda_2^1 = \lambda_2(1 - P_p)^n.$$

Імовірність того, що хоча б один СЗ потрапить в випереджаючий інтервал і подавить СЗ даної запитальної СС за рахунок накладення імпульсів ПСЗ, становить

$$P_1 = 1 - \exp(-\lambda_1^1 t_1).$$

Інтенсивність потоку хибних  $n$ -імпульсних кодів, утворених із ХІЗ, визначається співвідношенням

$$\lambda_0^1 = n \lambda_0^n (\tau_0 - \tau_c)^{n-1},$$

де  $\tau_c$  – заданий поріг селекції імпульсів за тривалістю.

Імовірності того, що хоча б один СЗ потрапить в випереджаючий інтервал і подавити декодування СЗ даної запитальних СС за рахунок часу приймання імпульсів ПСЗ, випромінюваних по бічним пелюсткам ДСА запитувача, а також утворених із ХІЗ, відповідно становлять

$$P_2^1 = 1 - \exp(-\lambda_2^1 t_2), \quad P_2^2 = 1 - \exp(-\lambda_0^1 t_1).$$

Тоді результуюча імовірність подавлення СЗ даної запитальних СС за рахунок часу приймання сигналів, випромінюваних по бічним пелюсткам ДСА запитувача, і утворених із ХІЗ хибних СЗ, дорівнює

$$P_2 = 1 - (1 - P_2^1)(1 - P_2^2).$$

Імовірність того, що хоча б один імпульс з потоку ХІЗ і ПСЗ збіжиться за часом з імпульсом СЗ даної запитальної СС і подавить його, становить

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

де  $\lambda_c = \lambda_0 + \lambda_1^1 + \lambda_2^1$ .

З урахуванням  $n$ -імпульсного СЗ імовірність подавлення СЗ дорівнює

$$P_3 = 1 - (1 - P_{10})^n.$$

Імовірність подавлення СЗ даної запитальних СС через появу на позиції сигналу хибного імпульсу подавлення, утвореного з завдань, становить:

$$P_4 = (1 - P_n) P_{10}.$$

Імовірність подавлення СЗ через інерційність вхідних формувачів ЛВ визначимо за формулою

$$P_5 = 1 - \exp(-\lambda_c \tau_f).$$

Імовірність одноразового декодування СЗ визначається співвідношенням

$$P_a = \prod_{i=1}^5 (1 - P_i).$$

Залежність  $P_a$  від інтенсивності  $\lambda_1$  ПСЗ для  $n = 2$ ,  $\lambda_2 = 5\lambda_1$  при різних  $\lambda_0$  наведена на рис. 2. З рис. 2 видно, що імовірність неспотвореного прийому СЗ слабко залежить від інтенсивності потоку ХІЗ і швидко зменшується при зростанні інте-

нсивності ПСЗ. При інтенсивності ПСЗ  $\lambda_1 = 5000$   $P_a$  становить 0,58...0,65.

Імовірність випромінювання відповіді ЛВ (кофіцієнт готовності ЛВ) даній запитальні СС з урахуванням інтервалу аналізу визначається співвідношенням

$$P_0 = 1 - (1 - P_a)^M$$

та для  $n = 2$  і  $M = 3$  різних наведена на рис. 3.

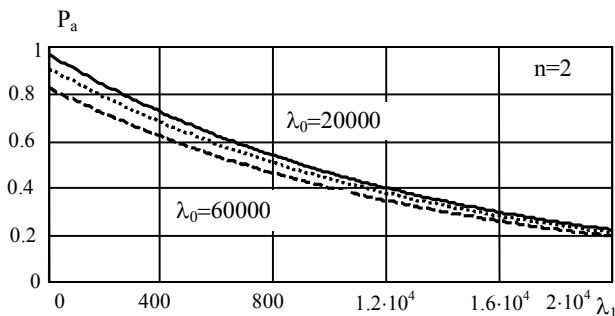


Рис. 2. Залежність  $P_a = f(\lambda_1)$

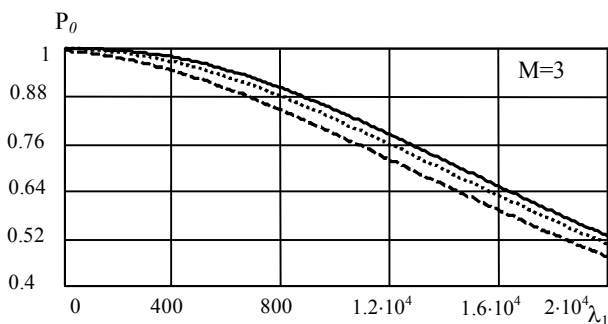


Рис. 3. Залежність  $P_0 = f(\lambda_1)$

Таким чином, застосування в ЗСПІ адресної відповіді з включенням до складу інформаційної посилки координат ПО дозволяє суттєво підвищити завадостійкість ЛВ та підвищити швидкість передачі інформації.

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЗАПРОСНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

И.И. Обод, В.В. Шевцова

*В статье приводится классификация методов повышения скорости передачи запросных систем передачи полетной информации системы контроля воздушного пространства, которые базируются на преемственном переходе от обслуживания сигналов запроса к обслуживанию абонентов и сети запросных систем передачи в целом. Показано, что такой переход позволяет существенно снизить или совсем исключить влияние преднамеренных коррелированных помех на скорость передачи запросных систем передачи.*

**Ключевые слова:** скорость передачи, запросные системы передачи информации, полетная информация.

## METHODS FOR INCREASING THE TRANSMISSION RATE OF QUERY-DATA TRANSMISSION SYSTEM

I.I. Obad, V.V. Shevtsova

*The article provides a classification of methods to increase the transmission rate of query-data transmission system flight information system airspace control, which are based on the continuity of the transition from the service request signals to service respondent and the network of the query-data transmission system in general. It is shown that such a transition allows to significantly reduce or entirely eliminate the effect of intentional correlated noise by transmission rate of query-data transmission system.*

**Keywords:** transmission rate, query-data transmission system, flight information.

## Висновки

Наведене вище дозволяють зробити наступні висновки:

- спадкоємний перехід до завадостійких ЗСПІ можливий на основі переходу від обслуговування СЗ до обслуговування абоненті чи до обслуговування мережі ЗСПІ у цілому;
- реалізація ЗСПІ з включенням у склад передаваної інформації просторових координат ПО дозволяє суттєвим чином підвищити завадостійкість запитальних систем передачі, що розглядаються, за рахунок переходу від обслуговування окремого запитувача до обслуговування мережі запитальних СС.

## Список літератури

1. Савицкий В.И. Автоматизированные системы управления воздушным движением / В.И.Савицкий. – М.: Транспорт, 1986. – 192 с.
2. Обод И.И. Структура та показники якості інформаційного забезпечення споживачів системами спостереження повітряного простору / И.И.Обод, Г.Е.Заволодько / Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 8(98). – Х.: ХУПС, 2011. – С. 106-109.
3. Обод И.И. Пропускна спроможність відповідачів запитальних систем передачі польотної інформації / И.И. Обод, В.В. Шевцова / Системи обробки інформації: Збірник наукових праць. – Вип. 1(108). – Х.: ХУПС, 2013. – С. 105-108.
4. Комплексне інформаційне забезпечення систем управління повітряними силами та протиповітряної оборони / [Ткачев В.В., Даник Ю.Г., Жуков С.А. і др.] – К.: МОУ, 2004. – 342 с.
5. Пат. на корисну модель № 58523 Україна, МПК G01S13/00. Спосіб передачі інформації /Обод И.И., Свид I.B., від 03.01.2012.

Надійшла до редколегії 15.03.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.В. Єрмаков, Академія внутрішніх військ МВС України, Харків.