УДК 62.681.5

С. В. КОЗЕЛКОВ, доктор техн. наук, професор;
Н. В. КОРШУН, канд. техн. наук;
В. Ф. ЗАЇКА, канд. військ. наук, доцент;
М. М. СТЕПАНОВ, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник, здобувач,
Державний університет телекомунікацій, Київ

Підвищення завадостійкості контрольно-коригувальних станцій супутникових радіонавігаційних систем з урахуванням впливу дестабілізуючих факторів

Розглянуто методи та засоби підвищення завадостійкості контрольно-коригувальних станцій супутникових радіонавігаційних систем.

Вступ

Одне з перших відкрито опублікованих досліджень щодо адаптивної компенсації завад виконала фірма General Electric Company в 1957–1960 роках. Ішлося про подавлення електромагнітних завад, які надходять по бічних пелюстках антен радіолокаційних станцій (РЛС). Надалі принцип адаптивної компенсації завад знайшов широке застосування при розв'язанні багатьох актуальних завдань із забезпечення завадостійкості. Освоєння технології адаптивних антенних решіток (ААР) сприяло подальшому вдосконаленню теорії і техніки автокомпенсації завад відкритого каналу.

Розвиток і широке використання супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) типу GPS (США), ГЛОНАСС (Росія), а в перспективі Galileo (ЄС) визначили актуальність проблеми захисту від завад приймальних пристроїв апаратури користувачів (АК) цих систем. Одне з перших сучасних вирішень, спрямованих на забезпечення надійного захисту GPS від завад, являє собою адаптивну антенну систему (ААС) GAS-1, розроблену й виготовлену компанією Raytheon Systems Limited (RSL). Ця система складається з 7-елементної антенної решітки та пов'язаного з нею 7-канального блока антенної електроніки.

Варто наголосити, що в умовах жорсткої конкуренції Об'єднане управління за програмами GPS відібрало саме цю систему, і вона успішно пройшла випробування і була впроваджена у ВПС США на літаках (B-52, E-3, B-1B, C-17).

Напрямки підвищення завадостійкості

Дослідження показали, що, незважаючи на фундаментальність розробленої теорії адаптивних антен, практична їх реалізація стикається зі значними труднощами. Адже при розробці адаптивної приймальної системи СРНС доводиться враховувати:

- специфіку сигнально-завадової обстановки в конкретній зоні;
- діапазон частот прийнятих навігаційних сигналів;
- ступінь складності з'єднання адаптивної антени з приймальною навігаційною апаратурою користувача;
- особливості носіїв апаратури з адаптивною антеною;
- обмеження за масогабаритними характеристиками доступної елементної бази для певних користувачів СРНС;
- вимоги щодо стійкості та збіжності алгоритмів адаптації;
- вплив дестабілізуючих факторів і дискретності керуючих елементів;
- ступінь наближення до оптимальних вирішень стосовно сумарної вартості програмно-апаратного комплексу.

Як об'єкти реалізації автокомпенсації в цій статті розглядаються також ***контрольно-коригувальні станції (ККС)***.

Зауважимо, що КСС як особливий різновид АК супутникових радіонавігаційних систем являють собою важливу структурну складову координатно-навігаційного забезпечення (КНЗ). Це найбільш істотно для країн, котрі не мають власних СРНС і космічних апаратів (КА) із навігаційним доповненням, а отже, і доступу до засобів керування існуючими СРНС, такими як GPS, ГЛОНАСС, Європейська геостаціонарна система навігаційного доповнення EGNOS та новий проект Galileo.

Фактори вразливості ККС

У місцях функціонування ККС загального призначення можливі значні ускладнення електромагнітної обстановки (ЕМО) через скупчення штатних потужних джерел електромагнітного випромінювання. Передусім це телевізійні передавальні станції, базові станції стільникових систем зв'язку, системи забезпечення польотів цивільних і військових літаків типу оглядових РЛС, приводні системи типу VORDME та РЛС ППО країни.

Завдання щодо підвищення завадостійкості СРНС

Сьогодні офіційних вимог стосовно завадової обстановки для ККС немає. Проте розробка відповідних вихідних положень з огляду на загальну та спеціальну завадову обстановку — завдання цілком здійсненне, хоча й вельми трудомістке.

Завадостійкість ККС слід розглядати з погляду впливу завад як у навігаційному каналі ККС, так і в каналі передавання диференційованої інформації.

Завадові впливи було проаналізовано для ситуацій:

- вимушеного (ненавмисного) порушення умов, що забезпечують електромагнітну сумісність ККС і радіоелектронних систем (РЕС), що діють у районі розташування відповідної контрольно-коригувальної станції;
- впливу на ККС випромінювання від радіолокаційного устаткування із забезпечення ППО країни в регіоні дислокації цього устаткування;
- навмисного застосування засобів радіоелектронної протидії (РЕП) при функціонуванні ККС СРНС в особливий період;
- пасивних перешкод за рахунок багатопроменевого поширення сигналів від навігаційних космічних апаратів (НКА) до АК і ККС при відбитті від предметів на місцевості.

Принципи підвищення завадостійкості

Узявши до уваги можливі ускладнення реальних ситуацій в особливий період та темпи розвитку засобів РЕП, слід верхню межу перевищення рівня завад над рівнем навігаційного сигналу змістити в діапазон до 80 дБ.

Традиційні способи підвищення завадостійкості АК добре відомі. Вони передбачають, зокрема:

- зменшення відношення завада/сигнал завдяки просторовій селекції сигналів за допомогою антен з адаптивно керованою діаграмою спрямованості, тобто за допомогою ААР;
- послаблення динамічних впливів на АК при звуженні смуги систем захоплення і стеження в навігаційному приймачі за рахунок використання даних про координати об'єкта в навігаційному полі СРНС, отриманих від додаткових навігаційних датчиків, таких як наземна імпульсно-фазова навігаційна система (ІФНС) типу «Чайка» і Loran-C;
- адаптивне підстроювання контурів стеження для АК рухомих об'єктів за допомогою інерційних навігаційних систем (ІНС);
- використання апріорі відомої службової інформації, наприклад про орбіти (ефемериди) НКА, що беруть участь у сеансі визначення місцезнаходження.

У реальній завадовій обстановці часто виникають ситуації, коли без застосування спеціальних заходів захисту завади повністю або частково подавляють корисний сигнал. Тоді розв'зання навігаційного завдання неможливе або реалізується з неприпустимими похибками. Тому проблема завадостійкості АК СРНС у просторово-часовому інформаційному континуумі навігаційне поле–поле завад справді актуальна. Особливу увагу доводиться приділяти багатьом відповідальним користувачам СРНС, зокрема базовим ККС, що становлять основу національного координатно-часового забезпечення (КЧЗ). Через виняткову складність ЕМО в зоні сучасних аеродромних комплексів підтримання роботи систем приводу і посадки літаків за сигналами СРНС (згідно з концепцією ICAO CNS/ATM) слід розглядати як постійно пріоритетне завдання.

У загальному випадку повністю надійне функціонування СРНС у завадовій обстановці забезпечується тільки за наявності у складі АК потрібних джерел навігаційної інформації, наприклад GPS + Loran-C або GPS + ИНС.

Основні процедури щодо забезпечення завадостійкості

Розв'язування завдання з досягнення завадостійкості навігації та визначення місцезнаходження в загальному випадку складається з таких етапів:

1) виявлення завад за перевищенням порога, зазвичай адаптивного;

2) виокремлення завадових напрямів у просторі;

3) здійснення власне компенсації завад;

4) виділення виявлення сигналу за допомогою узгодженої фільтрації в АК;

5) декодування сигналу (виокремлення навігаційної інформації).

Практично всі ці етапи тією чи іншою мірою адаптивні. Вони мають на меті підтримання заданого рівня точності, доступності й цілісності та забезпечення автоматичного розв'язування задачі з визначення місцезнаходження за наявності завад.

Специфіка сигналів СРНС і завад, яких зазнають ці системи

Особливості прийому сигналів СРНС, що визначають заходи із завадозахисту, полягають у гранично малому рівні сигналів цих систем біля поверхні Землі. Так, для відкритого коду С/А відповідний рівень становить мінус 160 дБВт при відношенні С/Ш сигналу до теплового шуму, яке дорівнює мінус 20 дБ. Крім того, необхідно компенсувати кодовий квазішумовий тип маніпуляції (CDMA в GPS і, відповідно, FDMA в ГЛОНАСС). За нормами Федеральної комісії зв'язку FCC США, будь-який сигнал, що перевищує рівень шумів на вході АК СРНС, характеризується як завада. Він має бути подавлений фільтровими,

структурно-сигнальними чи просторовими методами до рівнів, які не призводять до відмови в навігації або неприпустимої помилки у визначенні місцезнаходження.

За нормами Міжнародного союзу радіозв'язку (ITU), рівні щільності потужності сигналів СРНС у діапазоні 1,525…2,5 ГГц біля поверхні Землі не повинні перевищувати мінус 154 дБВт/м^2 у будь-якій смузі 4 кГц, аби не створювати завад каналам наземного рухомого зв'язку, що працюють у цій частотній ділянці на первинній основі. Ефективна площа слабоспрямованої приймальної зв'язкової антени в діапазоні L1 СРНС GPS оцінюється значенням мінус 25,4 дБ/м^2 у смузі 1,023 МГц. Отже, максимальна щільність НВЧ потужності СРНС у смузі 4 кГц (34,1 дБГц) на виході антени дорівнюватиме мінус 158,7 дБВт/м^2.

Звідси випливає, що запас, передбачений ITU, становить тільки 4,7 дБ.

Для НКА з підвищеною потужністю випромінювання, як це зроблено в проектах GPS Block IIA, сигнал, що приймається АК, становить мінус 157 дБВт, а це на 3 дБ краще, ніж за попередніми проектами НКА. Зрештою відповідний запас стає менший за 2 дБ. Це означає, що приймачі GPS не мають більше змоги підвищити свою сигнальну стійкість за рахунок випромінюваної потужності НКА. Тому необхідні засоби кореляційної обробки коду — узгодженої фільтрації в еквівалентній вузькій смузі 1 Гц, коли реалізується стиснення при обробці до 70 дБ і ефективне відношення С/Ш на виході АК становить 38…42 дБ.

Завадова стійкість АК СРНС реально може бути забезпечена тільки адаптацією в частотній і просторовій областях.

Досить складна ЕМО спостерігається для АК СРНС, зокрема для ККС, у зоні дії великих аеродромних комплексів. Загалом ідеться про розв'язання проблеми електромагнітної сумісності ККС як їхньої здатності нормально функціонувати в умовах заданої ЕМО. У Документі ІСАО як критерій завадостійкості приймачів СНРС ККС визначено доволі жорсткі вимоги стосовно норм зниження точності вимірювання дальності (псевдодальності) до НКА за допуском 1 сигма не більш як 0,4 м для GPS і не більш як 0,8 м для ГЛОНАСС. При цьому помилок у цифровій передачі має бути більш як одне слово на 104 слова для обох СРНС. Типові норми рівнів гармонічних і шумоподібних завад передбачають від мінус 150 дБВт, а відповідні смуги частот — до 40 МГц за наявності імпульсних завад із піковою потужністю 0 дБВт тривалістю до 125 мкс при щілинності, меншій за 0,1.

Застосування адаптивних антенних решіток

Як показує аналіз усіх відомих засобів поліпшення завадостійкості СРНС і ККС, найбільш ефективним способом підвищення завадостійкості апаратури беззаперечно вважається застосування адаптивних антен.

На практиці використовуються такі критерії ефективності роботи ААР:

- максимізація відношення сигналу до шуму/завади (МВСШ). Алгоритм МВСШ вимагає знання коваріаційної матриці завад, власних шумів АК та напряму надходження корисних сигналів, тому схема обробки в ААР при МВСШ має забезпечувати розпізнавання корисного сигналу за структурою;
- мінімізація середньоквадратичної помилки (МСКП); зокрема, кодований сигнал СНРС дозволяє реалізувати в ААР цей критерій, коли апріорі вже не потрібне знання напряму надходження корисних сигналів. Тому врахування форми сигналу та спосіб подавлення завад в ААР для АК та ККС СНРС в оптимальному випадку мають бути використані комплексно.

Серед багатьох критеріїв ефективності завадозахисту, застосовуваних на практиці, таких як МВСШ, максимум правдоподібності (МП), максимальне подавлення завад (МПЗ), максимум коефіцієнта передачі (МКП) АР, максимальної ентропії (МЕ), на практиці найчастіше як міру якості ААР вибирають відношення С/(П + Ш) сигналу до суми завади і шуму, тобто відношення всієї бажаної потужності сигналу до всієї небажаної потужності на виході адаптивного процесора. Ця міра якості близька до оцінки МП і входить в оцінку точності визначення місцезнаходження АК і ККС СРНС за наявності шумів. Незважаючи на порівняно добре розроблену математичну теорію ААР, технічну проблему завадостійкості АК і ККС СРНС на практиці не можна вважати повністю розв'язаною.

Пропонований метод у спеціальній технічній літературі відомий як *метод подвійної*, або *двохетапної адаптації* — так званий *адаптив-адаптив*, або *А2*.

При цьому ААР із повною адаптацією (ПААР) буде базовою структурою з компенсації завад. ПААР складається з АР і елементарних когерентних кореляційних автокомпенсаторів завад (АКЗ) типу Хауелса–Аппельбаума, установлених у кожному каналі АР. Елементарний АКЗ із контуром стеження О-типу являє собою повністю стійку структуру.

У ряді випадків при реалізації структурної вибірковості перед узгодженим фільтром за сигналом необхідно встановлювати фільтр, що «відбілює» структуру завади, тобто реалізує наближення структури завади до білого шуму.

Алгоритм А2 з апріорною інформацією про корисні сигнали не має низки недоліків ПААР. Завдання полягає в синтезі квазіоптимальної

структури частково адаптивної АР для ККС СРНС із максимальним використанням апріорної інформації щодо сигналів і завад, тобто зводиться до пошуку найкращого алгоритму для заданого застосування. Оскільки такої докладної апріорної інформації на практиці часто може не бути, особливо в разі перемежовуваних активних завад, то адаптивний процесор згідно з А2 — розумна альтернатива побудови АП СРНС із необхідною завадостійкістю в реальних умовах визначення місцезнаходження, навігації та вироблення коригувальної інформації в ККС.

Рецензент: доктор техн. наук, професор **Л. Н. Беркман**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

С. В. Козелков, Н. В. Коршун, В. Ф. Заика, М. Н. Степанов

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОНТРОЛЬНО-КОРРЕКТИРУЮЩИХ СТАНЦИЙ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

Рассмотрены методы и средства повышения помехоустойчивости контрольно-корректирующих станций спутниковых радионавигационных систем.

S. V. Kozelkov, N. V. Korshun, V. F. Zaika, M. M. Stepanov

THE IMPROVEMENT OF INTERFERENCE IMMUNITY OF SNS REFERENCE STATIONS WITH ACCOUNT OF DESTABILIZING FACTORS

The paper deals with the methods and means for raising interference immunity of check-correcting stations of satellite radio navigational systems.

УДК 629.7.08

О. В. БЄЛЯЄВ, канд. техн. наук, докторант;
О. В. ЗАДОРОЖНА;
О. Л. ПУЗИРЬОВ, канд. техн. наук, доцент;
І. В. МУНШТУКОВ, доцент,
Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету

Застосування автоматизованої інформаційної системи керування якістю технічного обслуговування навчально-тренувальних літаків як один зі шляхів підвищення рівня безпеки польотів

Проаналізовано функціональні зв'язки в системі технічного обслуговування повітряних суден і запропоновано підхід, згідно з яким контроль якості технічного обслуговування повітряних суден у складі ергатичної системи здійснюється методом скерування інформаційних потоків від складових системи, що забезпечують якість технічного обслуговування, в автоматизовану інформаційну систему з урахуванням людського чинника для підвищення рівня безпеки польотів.

Ключові слова: якість функціонування системи якості; ергатична система; технічне обслуговування; повітряне судно; автоматизована інформаційна система.

Актуальність та постановка проблеми

Забезпечення високої якості робіт із технічного обслуговування (ТО) авіаційної техніки (АТ) — важливе завдання для всієї інженерно-авіаційної служби авіакомпанії або авіаційного навчального закладу, оскільки йдеться про безпеку та регулярність польотів [1]. Система ТО являє собою ергатичну систему (ЕС), в якій важливу роль відіграє людський чинник. Один зі шляхів забезпечення ефективного функціонування системи ТО повітряного судна (ПС) полягає в пошуку раціонального розв'язання виробничих проблем щодо планування обсягів робіт, їхньої складності, інформаційного та матеріального забезпечення, добору виконавців і осіб, що їх контролюють, відповідної кваліфікації, строків виконання та інших питань стосовно гарантування високої якості виконуваних робіт. На успіх у справі підтримання високої якості ТО ПС поряд із зазначеними чинниками впливають численні як позитивні, так і негативні прояви людської діяльності. Відшукання інструментів керування інформаційними складовими системи контролю якості ТО ПС слід розглядати як один зі шляхів розв'язання важливого завдання — мінімізації негативного впливу людського чинника на якість виконуваних робіт.

Аналіз досліджень і публікацій

Загальні питання якості функціонування ергатичних систем розглядав А. І. Губинський [2], керування процесами ТО АТ описано в дослідженнях О. В. Орлова [3]. У зазначених працях приділено увагу відшуканню підходу до оцінювання якості контролю за системою ТО ПС як системою ергатичною. Окрім того, формуванню показників якості роботи технічного персоналу під час ТО АТ присвячено