

Анатолій Олексійович Ліпатов (канд. техн. наук, професор, провідний науковий співробітник)

Юрій Анатолійович Мазниченко (заступник начальника наукового центру)

Юлія Олександрівна Черкасова (старший науковий співробітник)

Олег Євгенійович Бондаренко (провідний науковий співробітник)

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Державного університету телекомунікацій, Київ

ЗАХИСТ СИСТЕМ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ВІД РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ПРИДУШЕННЯ

У статті надані результати аналізу методів підвищення завадозахищеності спеціальних ліній супутникового зв'язку та розглянуті деякі перспективні напрями завадозахисту систем супутникового зв'язку.

Ключові слова: система супутникового зв'язку, лінія супутникового зв'язку, радіоелектронне придушення, завадозахищеність, земна станція, станція супутникового радіомоніторингу.

Аналіз воєнних конфліктів останніх років показує, що успішне проведення воєнних операцій досягалося, значною мірою, порушенням управління військами противника шляхом радіоелектронного придушення (РЕП) його систем зв'язку. Реалізується воно, зокрема, впливом навмисних завад на приймальні пристрої систем супутникового зв'язку (ССЗ) і/або введенням в них хибної інформації. Тому завдання захисту систем (ліній) супутникового зв'язку від РЕП є важливими і актуальними.

Відомості за цим напрямом, враховуючи їхню специфіку, у доступній науково-технічній літературі досить обмежені та, на погляд авторів, є актуальними для фахівців, які забезпечують стійкість військового зв'язку.

Мета статті

Метою статті є систематизація відомостей про існуючі методи захисту систем (ліній) супутникового зв'язку від РЕП та розгляд особливостей перспективних напрямів завадозахисту ССЗ.

Характеристика застосування засобів радіоелектронного придушення

У мирний час можливе обмежене застосування засобів РЕП для короткочасної постановки радіозавад ССЗ потенційного противника, з приданням випадкового характеру цим завадам. Завдання такого застосування – завчасна оцінка рівня завадозахищеності ССЗ, виявлення використовуваних у них технічних засобів завадозахисту та алгоритмів їх функціонування, а також організаційних заходів із захисту ССЗ. Крім того, РЕП може використовуватися для зриву передавання окремих видів інформації, наприклад, від космічного апарату (КА) розвідки та спостереження, а також утруднення управління супутниками-ретрансляторами (СР).

Таким чином противник завчасно, ще в мирний час, може виявити всі діючі СР, установити режими їхньої роботи та частоти, провести аналіз

використовуваних сигналів і визначити ефективні види та параметри завад. І чим детальнішою й точнішою буде отримана інформація про ССЗ, тим ефективніше може бути організовано її придушення – з найменшими витратами часу, засобів та енергетичного ресурсу комплексу РЕП. Саме тому для воєнного часу у системі передбачається використання інших (резервних) частот і режимів роботи.

Масоване радіоелектронне придушення каналів зв'язку можна очікувати перед початком та під час ведення бойових дій. Найефективнішим є вплив на СР, так як при цьому можливе ураження всіх ЛСЗ, які працюють через нього. Вплив завад на територіально рознесені земні станції (ЗС) менш ефективний, так як вони можуть розміщуватися у складках місцевості вглибині своєї території. Для впливу на СР противник використовує наземні (стаціонарні та мобільні), корабельні, льотно-підйомні, космічні засоби РЕП, а також земні станції комерційних ССЗ та систем контролю космічного простору.

Для придушення ЗС та бортової апаратури СР використовуються і “закидні” передавачі завад (ЗПЗ). У першому випадку такі передавачі доставляються в райони розміщення ЗС диверсійними групами та безпілотними літальними апаратами, у другому випадку (в райони знаходження СР) – за допомогою КА інспекції та перехоплення. Особливостями застосування ЗПЗ є завчасна доставка їх у район місцезнаходження придушуваної земної станції та необхідність їхнього маскуванню (з можливостями самоліквідації).

Аналіз методів захисту ліній супутникового зв'язку від РЕП

Одним із основних видів протидії військовим системам супутникового зв'язку є радіоелектронне придушення ліній супутникового зв'язку (ЛСЗ).

Захист ЛСЗ від РЕП повинен здійснюватися безперервно і комплексно. Безперервність означає

постійне проведення заходів із завадозахисту ЛСЗ на стадіях розробки, модернізації, випробувань і застосування їх за цільовим призначенням. Комплексність захисту ЛСЗ досягається поєднанням технічних та організаційних заходів з протидії технічним засобам розвідки та підвищенням стійкості ЛСЗ до впливу РЕП [1...4]. Ефективність завадозахисту визначається співвідношенням затрат на радіоелектронне придушення ЛСЗ до затрат на забезпечення їхньої завадозахищеності.

Підвищення розвідзахищеності ЛСЗ досягається:

роботою передавальних пристроїв з мінімальною необхідною потужністю випромінювання;

використанням вузькоспрямованих антен з низьким рівнем бокових пелюстків їхньої діаграми спрямованості;

приданню ліній військових ССЗ ознак ліній комерційних систем;

використанням резервних СР, які задіюються для забезпечення інформаційного обміну у надзвичайних умовах (при радіоелектронному придушенні основних СР);

застосуванням сигналів з розширенням спектру (широкосмугових сигналів).

Зазначені методи ускладнюють противнику отримання розвідінформації. Найбільш дієвим методом захисту від радіорозвідки є розширення спектру сигналу, яке досягається заміною інформаційного символу псевдовипадковою послідовністю (ПВП). Підвищення розвід захищеності таких сигналів обумовлене змінюванням параметрів ПВП за невідомим для противника законом.

Підвищення стійкості роботи ЛСЗ при впливі засобів(комплексів) РЕП досягається: зниженням можливості впливу засобів РЕП; покращенням співвідношення між часовими та енергетичними характеристиками ЛСЗ і комплексів РЕП.

Зниження можливості впливу засобів РЕП досягається: фізичним знищенням цих засобів; використанням резервних ЛСЗ; імітацією роботи військових ЛСЗ як ліній комерційних систем.

Покращення співвідношення між часовими характеристиками ліній СЗ і комплексів РЕП реалізується збільшенням часу реакції комплексів РЕП та зменшенням часу реакції ЛСЗ на вплив завад. Ці заходи передбачають: швидкий перехід на роботу через неуразений ствол СР і зміну поляризації випромінювань; використання складних сигналів, обробку сигналів на СР та ін.

Покращення співвідношення між енергетичними характеристиками ЛСЗ і комплексів РЕП, спрямоване на збільшення затрат обмеженої потужності станції завад, необхідної для придушення ЛСЗ, досягається:

підвищенням енергетичного потенціалу ЛСЗ;

використанням сигналів з розширеним спектром;

застосуванням адаптивних антенних систем і антен з вузькими променями діаграми

спрямованості;

використанням завадостійкого кодування;

компенсацією та режекцією завад;

використанням захисних (екрануючих) властивостей місцевості й атмосфери.

На сьогодні найбільш дієвими методами захисту військових ССЗ від РЕП є розширення спектру сигналу, використання адаптивних антенних систем і антен з вузькими променями діаграми спрямованості, а також застосування завадостійкого кодування.

Перспективні напрями завадозахисту систем супутникового зв'язку

Пошук напрямів та методів підвищення завадозахищеності ССЗ (ЛСЗ) продовжується безперервно. Далі пропонується розглянути особливості перспективних напрямів завадозахисту ССЗ на прикладі трьох систем.

Система завадозахисту з просторовою компенсацією завад.

Дослідження [5] показали, що вплив завад по основному пелюстку діаграми спрямованості антени ЗС мало ймовірний. Імовірнішим та небезпечнішим є вплив радіозавади на її бокові пелюстки.

Фрагмент системи з просторовою компенсацією зазначеної завади (СПКЗ) наданий на рис. 1. Сигнал завади, прийнятий компенсаційною антеною СПКЗ, підсилюється і надходить на один із входів амплітудно-фазового регулятора, в якому амплітуда і фаза завади змінюються у відповідності із заданим алгоритмом роботи адаптивного процесора.

Корисний сигнал

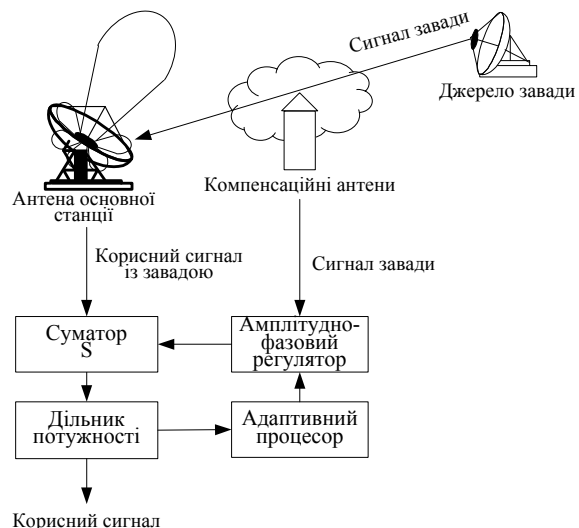


Рис. 1. Фрагмент системи з просторовою компенсацією завад

Отримана "копія" завади через амплітудно-фазовий регулятор подається на компенсаційний вхід синфазного суматора потужності S . На інший вхід S надходить адитивна суміш корисного сигналу і завади. З виходу S сигнал через дільник потужності передається до захищуваної станції і через адаптивний процесор на другий вхід амплітудно-фазового регулятора, де відбувається

подальша зміна амплітуди і фази завади.

Внаслідок ітераційних процесів на компенсаційному вході S з'являється напруга завади, рівна по амплітуді і протилежна по фазі напрузі, що надходить на основний вхід S від антени захищуваної станції. В результаті на виході утворюється корисний сигнал і незначний сигнал неповністю скомпенсованої завади. При цьому вплив завади може бути знижено на 20...30 дБ у сантиметровому і дециметровому діапазонах хвиль, у відносній (до 50%) смузі частот.

Основні вимоги до СПКЗ: кількість компенсаційних каналів (антен) повинна бути не менше кількості одночасно діючих завад; діаграми спрямованості основної та компенсаційної антен повинні мати просторову розв'язку не менше 20 дБ; якість компенсаційного прийому каналу у напрямку джерела завади повинна бути не нижчою якості основного каналу.

Система завадозахисту з рознесенням "приймального" і "передавального" супутників-ретрансляторів.

Структурна схема завадозахищеної системи з рознесенням супутників-ретрансляторів [6] надана на рис. 2.

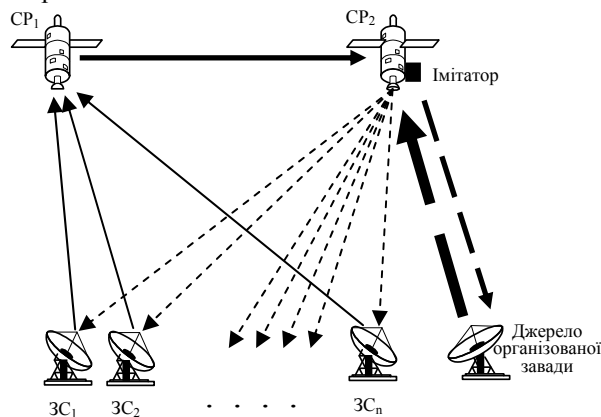


Рис. 2. Завадозахищена система з рознесенням супутників-ретрансляторів

Система містить земні станції $ЗС_1, ЗС_2 \dots ЗС_n$ і два просторово рознесені супутники-ретранслятори $СР_1$ і $СР_2$. Супутник $СР_1$ для сигналів усіх земних станцій є приймальним, а $СР_2$ – передавальним (він містить імітатор ефективності впливу завад).

Сигнали, прийняті від усіх земних станцій супутником-ретранслятором $СР_1$, передаються на $СР_2$ по захищеній від радіозавад із Землі лінії міжсупутникового зв'язку (лазерній або на частоті 60 ГГц). На частоті 60 ГГц, як відомо, існує резонансне поглинання енергії радіохвиль у кисні (O_2) приземного шару атмосфери. Воно суттєво ослаблює сигнал станції завад, розміщеної на Землі. Супутник $СР_2$ ретранслює прийнятий від $СР_1$ сигнал у напрямку Землі вже у передбаченій для ССЗ (нижній) смузі частот.

Завадозахищеність такої ССЗ визначається наступним. Постановник завад, приймаючи випромінювані $СР_2$ сигнали до ЗС, випромінює у його напрямку завади на стандартно здвигнутих

вверх частотах. Відсутність на $СР_2$ приймача цих частот знецінює дії постановника завад. Для його дезорієнтування на $СР_2$ встановлений імітатор ефективності впливу завади на ССЗ.

Система моніторингу і аналізу випромінювань супутників-ретрансляторів.

Як зазначалося вище, ймовірний противник може впливати на наші СР з різними цілями: введення хибної інформації у повідомлення; відбір потужності СР для передавання своїх сигналів; виявлення реакції системи завадозахисту на "випадкові" завади і т.п. Тому необхідний постійний моніторинг роботи СР з метою виявлення наявності та характеру завад. Контроль і аналіз випромінювань СР у смугах частот, виділених для ССЗ, здійснюється штатними засобами цих систем.

Пропонується для вирішення цього завдання використовувати автоматизовані системи радіомоніторингу (АСРМ), детальний опис яких у широкодоступній науково-технічній літературі на цей час відсутній. Структурна схема АСРМ згідно з [7] надана на рис. 3.

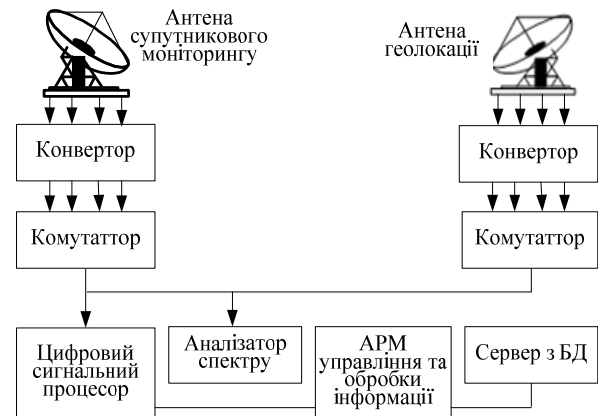


Рис. 3. Автоматизована система радіомоніторингу

АСРМ у режимі контролю здійснюють: аналіз і вимірювання параметрів радіовипромінювань підконтрольних СР; перевірку легітимності роботи передаваних через нього сигналів; реєстрацію та відображення отриманої інформації на завдання адміністрації зв'язку або інших контролюючих органів.

У режимі геолокації в АСРМ використовуються дві приймальні антени, що дозволяє визначити приблизне місцезнаходження джерела завад. Його пеленгація основана на вимірюванні та аналізі часів затримки завади, що ретранслюється двома близько розміщеними СР. При цьому, за необхідності, враховується доплерівський здвиг частоти, наприклад, внаслідок переміщення СР відносно номінальної точки стояння.

Документ [8] містить відомості про варіант АСРМ типу GeoMon. Система складається з наступних підсистем: контролю супутникових частот; геолокації; визначення, оновлення та відображення ефемерид супутників;

автоматизованого контролю та управління. АСРМ може сканувати всі несівні частоти супутників, які перевіряються, здійснювати геолокацію по кожній окремій несівній частоті з визначенням координат несанкціонованого передавача. Можливість визначення місцезнаходження джерела завад і усунення його впливу підвищують завадозахищеність ССЗ.

Висновки й перспективи подальших досліджень

У загальнодоступній технічній літературі відомості щодо захисту систем (ліній) супутникового зв'язку від навмисних завад представлені досить скупо. У статті надані систематизовані матеріали із зазначеної тематики, розглянуті деякі перспективні напрями завадозахисту систем супутникового зв'язку, а саме:

використання просторової компенсації завад, що знижує їхній вплив на 20...30 дБ у сантиметровому і в дециметровому діапазонах хвиль, у відносній (до 50%) смузі частот;

рознесення супутників-ретрансляторів, що дозволяє скрити від противника позицію приймального СР і запобігти впливу на нього навмисних завад;

використання автоматизованих систем радіомоніторингу для аналізу випромінювань СР, виявлення місцезнаходження джерела завад та усунення їхнього впливу.

Доцільно продовжити дослідження щодо систематизації та подальшого розвитку перспективних напрямів і засобів завадозахисту, а також оцінки їхньої техніко-економічної ефективності.

Література

1. Военные системы космической связи / Под ред. Косякова Е.Н. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2003. – 388 с. 2. Куприянов А.И. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров – М.: “Вузовская книга”, 2007. – 350 с. 3. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / Под ред. Радзиевского В.Г. – М.: “Радиотехника”, 2006. – С. 154 – 276. 4. Варганесян В.А. Радиоэлектронная разведка. – М.: Воениздат, 1991. – 254 с. 5. Степанов А., Верзунов Г., Ганзий Д. Защита от помех в спутниковой связи – М.: “Технологии и

средства связи”, № 6, 2008. 6. Патент № 73395. Завадозахищена система супутникового зв'язку / Ільченко М.Ю., Ліпатов А.О., Мазниченко Ю.А., Наритник Т.М., Черкасова Ю.О. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.09.2012. 7. Слободянюк П.В. Довідник з радіомоніторингу / П. В. Слободянюк, В. Г. Благодарний, В. С. Ступак – Ніжин: “Аспект-Поліграф”, 2008. – С. 358 – 361. 8. Система контроля спутниковых передающих станций для регуляторных органов GeoMon. INTEGRAL SYSTEM 20.08.2008.

ЗАЩИТА СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ОТ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПОДАВЛЕНИЯ

Анатолий Алексеевич Липатов (канд. техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник)

Юрий Анатолиевич Мазниченко (заместитель начальника научного центра)

Юлия Александровна Черкасова (старший научный сотрудник)

Олег Евгеньевич Бондаренко (ведущий научный сотрудник)

Военный институт телекоммуникаций и информатизации Государственного университета телекоммуникаций, Киев

В статье представлены результаты анализа методов повышения помехозащищенности специальных линий спутниковой связи и рассмотрены некоторые перспективные направления помехозащиты систем спутниковой связи.

Ключевые слова: система спутниковой связи, линия спутниковой связи, радиоэлектронное подавление, помехозащита, земная станция, станция спутникового радиомониторинга.

PROTECTION OF SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS FROM RADIO ELECTRONIC SUPPRESSION

Anatoly Lipatov (Candidate of Technical Sciences, Professor, Leading Research Fellow of a Research Section)

Yurii Maznychenko (Deputy Chief of a Research Center)

Julia Cherkasova (Senior Research Fellow of a Research Section)

Oleg Bondarenko (Leading Research Fellow of a Research Section)

Military Institute of Telecommunications and Information of State University of Telecommunications, Kyiv

The results of analysis of methods of the special satellite lines from the radio electronic suppression are presented in the article. It is considered some perspective directions of antijamming of the satellite communication systems for example of three systems, such as: the system antijamming with spatial indemnification of hindrances; the system antijamming with carrying “receiving” and “transmitter” companions-repeaters (CR); the system monitoring and analysis of radiations of companions-repeaters.

The use of spatial indemnification of hindrances allows to reduce their influence on 20...30 dB in a centimeter and decimeter ranges of waves, in the relative (to 50%) stripe of frequencies. Setting about companions-repeaters allows to hide from an opponent position of receiving CR and to prevent influence on him intentional hindrances. The use of automated systems of radio monitoring allows to carry out the analysis of radiations of CR, educe the location of source of hindrances and remove their influence.

Key words: satellite communication network, satellite, radio electronic suppression, antijamming, earthly station, station of the satellite radio monitoring.