

Українська державна академія залізничного транспорту

**Пашков Дмитро Павлович**

**УДК 621.396.946:629.783.05**

**МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ  
РАДІОКАНАЛУ УПРАВЛІННЯ КОСМІЧНИМИ АПАРАТАМИ  
СИСТЕМ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат дисертації  
на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Харків - 2002**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському військовому університеті Міністерства оборони України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Козелков Сергій Вікторович, заступник начальника кафедри Національної академії Оборони України, Міністерство оборони України, м.Київ.

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, професор

Краснобаєв Віктор Анатолійович, професор кафедри "Автоматизації та комп'ютерних технологій" Харківського державного технічного університету сільського господарства Міністерства аграрної політики України, м. Харків;

- кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Тарохтей Валерій Петрович, заступник начальника відділення АТ "Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань" Національного космічного агентства України, м.Харків.

Провідна установа Севастопольський національний технічний університет, кафедра "Радіотехніки" Міністерства освіти і науки України, м. Севастополь.

Захист відбудеться “ 29 ” 09 2002 р. о “ 15.00 ” годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.01 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою:

Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту.

Відгук на автореферат просимо надсилати за адресою:

Україна, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий “ 09 ” 08 2002 р.

Вчений секретар

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Кардинальні зміни на Україні, що відбуваються в галузі телекомунікацій торкнулися однієї з складових системи супутникового зв'язку, що знайшло відображення в прийнятті закону України "Національна програма інформатизації" і Національної космічної програми, в яких ставляться задачі розвитку супутникових інформаційних технологій з використанням космічних апаратів (КА) на низьких орбітах. Проблемні питання застосування сучасних технологій низкоорбітальних систем супутникового зв'язку настійно вимагають вдосконалення наземного сегмента управління КА. Для ефективного використання КА при рішенні як цільових задач, так і задач пов'язаних з управлінням бортовою апаратурою (БА) необхідний стійкий інформаційний обмін між КА і РТС наземного комплексу управління (НКУ) під час сеансу радіозв'язку. Цільове навантаження, що збільшується з кожним роком на БА КА приводить до зростання інформаційних потоків в автоматизованій системі управління КА. Оскільки територія України для висот орбіт КА понад 200 км являє собою один вимірвальний пункт, то НКУ КА можливо сформувати тільки за однопунктної технології побудови. Це приводить до підвищених вимог по швидкості передачі інформації циркулюючої в НКУ, і зокрема - по пропускній спроможності радіоканалу між КА і наземною РТС. При цьому на характеристики інформаційних систем що використовують понадвисокочастотні (ПВЧ) і крайньовисокочастотні (КВЧ) діапазони при прийомі радіосигналів впливають флуктуаційні процеси, зумовлені радіофізичними ефектами в атмосферному шарі Землі. Одним з результатів цього є частотно-селективні завмирання (ЧСЗ). Крім цього, як в антенно-фідерному тракті, так і в приймальній частині РТС існують внутрішні (теплові) шуми викликані як фізичною невизначеністю (вплив атмосфери, джерела радіовипромінення, магнітосфера Землі і інш.), так і фізичними процесами що протікають в самій радіосистемі, внаслідок яких виникають нелінійні інерційні процеси в антенно-приймальних пристроях, що також негативно позначається (зменшує) на динамічному діапазоні радіоприймальної частини, і приводить до зниження пропускної спроможності радіоканалу.

У вирішення задач пов'язаних з підвищенням інформаційних можливостей каналів зв'язку найбільш вагомий внесок внесли Шенон К.Э., Котельников В.А., Колмогоров А.Н., Фінк Л.М., Коржік В.І., Вудворд Ф.М., Вінер Н.Я., Кедрус В.А., Кузьмін І.В., Тепляков І.М., Ігнатов В.А., Белянський П.В., Горба Н.Н., Гуткин Л.С., Зюко А.Г., Кочержевський м. Н., Петрович Н.Т., Покрас А. М., Чистяков Н.И., Тузів м. І., Сазонов Д.М., Циркин В.М., Шифрін Я.С. Калман Р.Е.,

Кловський Д.Д., Стратонович Р.Л., Фалькович С.Е., Чердинцев В.А., Шахгильянов В.В. і багато інших.

Таким чином, вдосконалення систем управління космічними апаратами і передачі даних є однією з важливих умов подальшого розвитку супутникових систем зв'язку. Тому можна обґрунтовано стверджувати про наявність актуальної наукової задачі дослідження що вирішується в дисертаційній роботі - розробка методу підвищення пропускної спроможності радіоканалу управління для низькоорбітальних угруповань КА при реалізації однопунктної технології побудови НКУ.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконувалася в рамках Державної (Національної) космічної програми України, одним з напрямів досліджень, що проводяться є вдосконалення існуючих і створення нових телекомунікаційних наземних радіотехнічних систем і комплексів управління КА. Автор брав участь у виконанні науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт по модернізації наземного автоматизованого комплексу управління і створенні на їх основі НКУ КА однопунктної технології побудови, що відображено в дослідно-конструкторських роботах (ДКР) "Модернізація", "Центр", "Січ-1", "Управління", "Мікроспутник", "Гранат", "Інтербол-1", "Інтербол-2", "Лінія-100", "Радар", а так само в науково-дослідних роботах (НДР) "Сузір'я", "Екліптиці" і "Загроза". Вказані теми НДР і ДКР виконувалися автором в Головному центрі випробувань і застосування космічних систем Міністерства оборони України, в Національному центрі управління і випробувань космічних засобів Національного космічного агентства України і в Харківському військовому університеті.

### **Мета і задачі дослідження.**

Метою дисертаційної роботи є розробка методу підвищення пропускної спроможності радіоканалу управління космічними апаратами при реалізації однопунктної технології побудови НКУ, що досягається шляхом адаптивного прийому радіосигналів і наведення антенних пристроїв в нелінійних ПВЧ і КВЧ РТС.

*Об'єкт дослідження* - ПВЧ і КВЧ РТС наземного комплексу однопунктного управління КА.

*Предмет дослідження* - пропускна спроможність радіоканалу управління КА при реалізації однопунктної побудови НКУ.

*Методи дослідження.* Теоретичною базою для вирішення сформульованої задачі є роботи по теорії статистичних рішень, теорії інформації, теорії завадостійкості, теорії поширення радіохвиль, а також теорії побудови антенних систем і радіоприймальних пристроїв. Для системи, що синтезується був вибраний математичний апарат функціональних рядів Вольтерра. Нарівні з аналітичними розрахунками в дисертаційній роботі використовувалося імітаційне моделювання на ПЕОМ.

**Мета і задачі дослідження.** Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі сформульовані і вирішені наступні **основні задачі**:

- зроблено оцінку впливу радіофізичних ефектів виникаючих в атмосфері Землі на поширення радіохвиль сантиметрового і міліметрового діапазонів і їх впливу на пропускну спроможність радіоканалу;
- проведено аналітичний огляд математичних методів аналізу нелінійних інерційних процесів, виникаючих в антенно-приймальних пристроях і вдосконалений науково-методичний апарат оцінки якості функціонування нелінійних РТС з метою розширення динамічного діапазона антенно-приймальних пристроїв;
- розроблено метод підвищення пропускну спроможності радіоканалу в умовах частотно-селективних завмирань і їх вплив на нелінійні ПВЧ і КВЧ радіосистеми управління КА при реалізації однопунктної технології НКУ;
- експериментально досліджено запропонований науково-методичний апарат по підвищенню пропускну спроможності радіоканалу в умовах частотно-селективних завмирань на базі вдосконаленої РТС.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Вперше отримано аналітичний вираз на основі функціональних рядів Вольтерра, що дозволяє кількісно оцінити впливи нелінійних інерційних процесів, виникаючих в антенно-приймальних пристроях на пропускну спроможність ПВЧ і КВЧ РТС.
2. Отримав подальший розвиток метод підвищення пропускну спроможності радіоканалу управління КА на основі адаптивного прийому радіосигналів, відмінного тим, що в залежності від величини фазових спотворень здійснюється перехід від когерентного до автокореляційного прийому, і побудови схеми наведення антенних систем РТС відмінної тим, що знижуються енергетичні витрати пристрою наведення за рахунок підвищення точності наведення.
3. Розроблена методика оцінки пропускну спроможності НКУ, відмінна тим, що в ній враховується адаптивний прийом радіосигналів в РТС при реалізації однопунктної технології управління КА.

**Практична значимість отриманих результатів** досліджень, що проведені складається в наступному:

1. На основі врахування впливу нелінійних інерційних процесів виникаючих в антенно-приймальних пристроях в способі підвищення пропускну спроможності СВЧ і КВЧ РТС отримано аналітичний вираз що дозволяє по зміні відношення сигнал-шум внаслідок нелінійності амплітудних характеристик в радіосистемі кількісно оцінити пропускну спроможність РТС.

2. Розроблений алгоритм адаптивного прийому радіосигналів що є складовою частиною способу підвищення пропускної спроможності ПВЧ і КВЧ РТС дозволив підвищити пропускну спроможність на 100 біт/с при обміні командно-програмною інформацією і в 1,2 рази - телеметричною інформацією між РТС наземного пункту управління і Центра управління польотом космічними апаратами.
3. Розроблена система наведення антенних пристроїв супроводу космічних апаратів дозволяє зменшити енергетичні витрати РТС, що підтверджено патентом України № 43120А.
4. Запропонована методика оцінки пропускної спроможності НКУ однопунктної технології управління КА дозволила скоротити технологічний цикл управління сеансу управління космічними апаратами на 15 %.

#### **Особистий внесок здобувача.**

Основні положення дисертаційної роботи відображені в 7 опублікованих особисто і в спільних роботах в збірниках наукових трудів, які входять в перелік видань дозволених ВАК України для публікацій отриманих результатів досліджень по технічним наукам і в 1 декларативному патенті на винахід: [1] - складається в розробці алгоритму адаптивного переходу по величині дисперсії фази від когерентного до автокореляційного прийому радіосигналів; [2] - розробив рекомендації по створенню комплексу балістико-навігаційного забезпечення КА; [3] - розроблена конфігурацію інформаційних зв'язків об'єднаного центра управління польотом КА; [4] - визначена порогова величина дисперсії фази при переході від когерентного до автокореляційного прийомів радіосигналів в каналах з частотно-селективними завмираннями; [5] - провів оцінку якості функціонування існуючих систем супутникового зв'язку; [7] - сформулював задачу досліджень і провів класифікацію отриманих математичних методів; [8] - сформулював задачу досліджень, запропонував внести в пристрій наведення антен дільник потужності і провів порівняльну оцінку розробленого пристрою з існуючими прототипами.

#### **Апробація результатів дисертації.**

Отримані результати досліджень дисертаційної роботи доповідалися на

1. Військово-науковій конференції "Наукові проблеми підвищення ефективності і вдосконалення озброєння військ і артилерії сухопутних військ, способів їх бойового застосування і експлуатації, а також технічного, метрологічного і хімічного забезпечення". Харків, ХВУ. 1995.
2. 10 військово-науковій конференції. Житомир, ЖВУРЕ ПВО, 1996.
3. Науково-технічній конференції "Проблеми вдосконалення систем управління і зв'язку". Харків, ХВУ, 1997.

4. 2-й науково-технічній конференції “Удосконалення систем і засобів метрологічного забезпечення озброєння та військової техніки”. Харків, 1999.
5. 1-й науково-технічній конференції військ ППО. Харків, 1999.
6. Міжнар. конф. "Від сонячної корони через міжпланетний космос в магнітосферу і іоносферу Землі: Інтербол, JSTP супутники і наземні спостереження". - ДО.: КПІ. -2000.
7. 13-й Міжнародній школі-семінарі “Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті”. Харків-Алушта, 2000.
8. Науково-технічному семінарі “Проблемні питання метрологічного забезпечення складних РТК спеціального призначення”. Харків, Науковій метрологічний центр (військових еталонів), 2000.
9. 14-й Міжнародній школі-семінарі “Перспективні системи управління на залізничному, промисловому та міському транспорті”. Алушта, 2001.
10. 3-й науково-технічній конференції “Удосконалення систем і засобів метрологічного забезпечення озброєння та військової техніки”. Харків, Науковій метрологічний центр (військових еталонів), 2001.
11. Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми інформатики і моделювання”. Харків, НАНУ, НТУ “ХПІ”, 2001.

**Публікації.** Основні результати досліджень опубліковані в 7 статтях в науково-технічних збірниках, в 1 декларативному патенті на винахід, у 11 виступах на науково-технічних, військово-наукових конференціях і семінарах, які опубліковані в тезах доповідей. Матеріали роботи використовувалися в 14 звітах науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт.

**Структура і об'єм дисертації.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, літератури (158 найменувань на 14 сторінках) і додатків. Робота містить 189 сторінок, 40 малюнків, 11 таблиць на 10 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** на основі аналізу предметної області дослідження і порівняльного огляду відомих публікацій обґрунтовується актуальність і ставиться загальна наукова задача, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Визначається предмет і об'єкт дослідження, формулюється мета і ставляться основні задачі дослідження, визначаються методи їх рішення. Відображена наукова новизна і практична значущість отриманих результатів. Приводяться відомості про публікації і апробації результатів дослідження.

У **першому розділі** проведено дослідження можливостей підвищення пропускну здатності ПВЧ і КВЧ РТС НКУ при реалізації однопунктної технології управління КА. Аналіз особливостей багатопунктної і однопунктної технологій побудови наземного комплексу

управління космічними апаратами дозволив зробити висновок про можливість реалізації наземного сегмента управління КА Національної телекомунікаційної інфраструктури супутникового зв'язку на основі тільки однопунктної технології. Що в свою чергу висуває додаткові вимоги до інформаційних характеристик систем і комплексів НАКУ. Аналіз літератури дозволив визначити основні чинники що впливають на пропускну спроможність радіоканалу при поширенні радіохвиль сантиметрового і міліметрового діапазонів. Враховуючи особливості поширення радіохвиль сантиметрового і міліметрового діапазонів були визначені основні атмосферні ефекти що впливають на високошвидкісні радіоканали. Проведений аналіз показав, що збільшення шумів в антенно-приймальному тракті поєднується із зростанням втрат енергії сигналу зза ЧСЗ, що приводить до зменшення відношення сигнал-шум. Так при коефіцієнті шуму радіосистеми  $438^\circ \text{K}$  і завмиранні радіосигналу на 10 дБ зменшення співвідношення сигнал-шум становитиме 5,25 дБ в порівнянні з відношенням сигнал-шум при ясному небі. На основі аналізу антенно-фідерних трактів РТС був зроблений висновок про те, що основним джерелом теплових шумів що обмежують чутливість приймальних пристроїв є шуми антенних систем. У ході роботи були отримані залежності шумової температури параболічних антен від кута місця, які дозволили зробити висновок про оптимальність використання ПВЧ і КВЧ діапазонів довжин хвиль по рівню шумової температури. У ході оцінки застосовності відомих способів підвищення інформативності РТС було визначено, що для моноімпульсної системи наведення пропускну спроможність може бути представлена як

$$C = \Delta f \log_2 \left( 1 + \frac{\theta_{0,5}^2}{2,46 \sqrt{\frac{D_B \Delta^2}{D_n}}} \right), \quad (1)$$

де  $\Delta$  - помилка наведення антенної системи РТС;

$\theta_{0,5}$  - ширина діаграми спрямованості по рівню половинної потужності;

$D_B$  - динамічний діапазон приймача;

$D_n$  - динамічний діапазон стежачої системи;

$\Delta f$  - смуга пропущення радіоканалу.

При цьому ширина діаграми спрямованості антени  $\theta_{0,5}$  в робочому діапазоні частот визначається якістю зв'язку і умовою забезпечення бажаного енергетичного потенціалу радіолінії. У цьому випадку для і перспективних РТС, що проектуються допустима помилка наведення антенних систем не повинна перевищувати величину (для антен з параболічним рефлектором)

$$\Delta_{\text{доп}} = (0,1 - 0,25) \frac{4,2 * 10^3 \lambda}{B}, \quad (2)$$

де  $\lambda$  - робоча довжина хвилі;



$v$  - діаметр дзеркала антени.

Аналіз основних видів прийому двійкових сигналів з відносною фазовою маніпуляцією (ВФМ-2) при оцінці пропускної спроможності РТС показав, що когерентний прийом більш переважний при відсутності фазових флуктуацій сигналу, що приймається. При цьому імовірність помилки оптимального когерентного прийому може бути визначена як

$$P_k = 2F\left(\sqrt{2}\left(2^{\frac{C}{\Delta f}} - 1\right)\right)\left[1 - F\left(\sqrt{2}\left(2^{\frac{C}{\Delta f}} - 1\right)\right)\right], \quad (3)$$

де  $F(\cdot)$  - інтеграл помилок;

$C$  - пропускна спроможність РТС;

$\Delta f$  - смуга пропускання.

Однак, в реальному радіоканалі на електромагнітні хвилі сантиметрового і міліметрового діапазонів впливають різні чинники, що обумовлює зміну фази, амплітуди, поляризації і частоти сигналу. Відомо, що автокореляційний прийом інваріантний до спотворень форми переданого сигналу і імовірність помилки для ВФМ-2 сигналів визначається як

$$P_a = 0,5 \exp\left(0,5\left(2^{\frac{C}{\Delta f}} - 1\right)^2\right). \quad (4)$$

Аналіз залежності імовірності помилкового прийому від дисперсії фази сигналу  $\Delta\phi$  на трасі поширення показав, що при  $\Delta\phi \geq 60^\circ$  доцільно використати автокореляційний прийом, інакше прийом здійснюється когерентним методом.

Враховуючи виникаючі помилки в системі наведення антенних пристроїв, було запропоновано розділення режимів роботи антенної системи ПВЧ і КВЧ РТС на “захоплення” і “супровід”, що дозволило зменшити результуючу помилку наведення на космічний апарат. При цьому в антенно-приймальному тракті виникають нелінійні інерційні процеси, які зменшують динамічний діапазон радіоприймальних пристроїв, що знижує пропускну спроможність радіоканалу. Тому в роботі досліджувався вплив нелінійних процесів в приймальних пристроях РТС на прийом радіосигналів. У роботі даний аналітичний огляд традиційних методів дослідження нелінійних інерційних процесів виникаючих в антенно-приймальних пристроях РТС і зроблений висновок про переважне використання математичного апарату функціональних рядів Вольтерра. Однак цей функціональний науково-методичний апарат вимагає розвитку для використання при оцінці пропускної спроможності нелінійних РТС.

На основі порівняльного аналізу можливих методів підвищення ефективності РТС НКУ КА зроблений висновок про збільшення пропускної спроможності ПВЧ і КВЧ РТС за допомогою

підвищення точності наведення антенних пристроїв (АП), застосування адаптивного алгоритму прийому і узгодження динамічних діапазонів стежачої системи з багатокаскадними РТС.

Обґрунтована актуальність наукової задачі. За результатами проведеного дослідження здійснена аргументована постановка загальної і складаючих її основних задач для досягнення мети роботи.

У зв'язку з цим у **другому розділі** на основі проведеного в першому розділі аналізу особливостей підвищення пропускної спроможності РТС було показано, що для рішення задач управління КА необхідно удосконалити математичний апарат на основі рядів Вольтерра для аналізу нелінійних інерційних процесів в кутомісних багатокаскадних РТС. Однієї з наукових задач що вирішуються в даному розділі, є розвиток теорії функціональних рядів в напрямі розширення їх аналітичних можливостей для дослідження нелінійних інерційних РТС.

Розглянуті особливості узгодження динамічних діапазонів вхідного впливу і каскадів антенно-приймальних пристроїв по інтермодуляційним і перехресним спотворенням. Для вузькосмугових (по відношенню до несучої частоти) РТС, працюючої в малосигнальному режимі, для якого характерні в основному нелінійні спотворення третього порядку, ряд Вольтерра в багатомірній комплексній області має наступний вигляд

$$Y(f_1, f_2, \dots, f_n) = \sum_{n=1}^{\infty} H_n(f_1, f_2, \dots, f_n) \prod_{i=1}^n X(f_i) \cong \\ \cong H(f_1)X(f_1) + H_3(f_1, f_2, -f_3)X(f_1)X(f_2)X(-f_3), \quad (5)$$

де  $X(\cdot)$ ,  $Y(\cdot)$  - перетворення Фур'є вхідного і вихідного сигналів, відповідно;

$H_n$  - нелінійна передавальна функція (ядро Вольтерра)  $n$ -го порядку;

$f_i$  - аргументи багатомірний перетворення Фур'є.

Тоді динамічний діапазон по інтермодуляційним спотворенням можна знайти як

$$D_1(f') = \frac{1}{[X_{\min}(f')]^{2/3}} \sqrt[3]{K_1 \frac{H_1(f')}{H_3(f_1, f_2, -f_3)}}, \quad (6)$$

де  $K_1$  - константа, що оцінює допустимий рівень інтермодуляційних спотворень (звичайно  $K_1 = 0,01; 0,1$ );

$X_{\min}$  - мінімальний рівень вхідного сигнала, що визначає чутливість радіосистеми;

$f_1, f_2, f_3$  - частоти вхідного впливу, причому частота  $f'=(f_1+f_2-f_3)$  повинна попасти в смугу пропускання по виходу радіопристрою  $\Delta f_{\text{вих}}$ , а частоти  $f_1, f_2, f_3$  повинні попасти в смугу пропускання по входу радіопристрою  $\Delta f_{\text{вх}}$

Динамічний діапазон радіосистеми по перехресних спотворенням характеризується вираженням наступного вигляду

$$D_2(f'') = \frac{1}{X_{\min}(f'')} \sqrt{K_2 \frac{H_1(f'')}{H_3(f, f_1, -f_2)}}, \quad (7)$$

де  $K_2$  - константа, що визначає максимально допустимий для даного радіопристрою рівень перехресних спотворень (звичайно  $K_2=0,01; 0,1$ );

$f_1, f_2, f_3$  - частоти сигналів, що приймаються і вхідних впливів, відповідно, причому частота  $f''=(f+f_1-f_2)$  повинна попасти в смугу пропусчення по виходу радіопристрою  $\Delta f_{\text{вих}}$ , а частоти  $f, f_1, -f_2$  повинні попасти в смугу пропусчення по входу радіопристрою  $\Delta f_{\text{вх}}$ .

Зроблений висновок про необхідність збільшення динамічного діапазона окремих каскадів у випадку, якщо динамічний діапазон вхідних впливів ширше динамічного діапазона багатокаскадного радіопристрою. Розроблені мажоритарні вимоги до ширини динамічного діапазона каскадів антенно-приймальних пристроїв.

Проведена оцінка пропускну спроможності багатокаскадних антенно-приймальних пристроїв, використовуючи мажоритарні вимоги до ширини динамічного діапазона стежачої системи і приймача як

$$C = \Delta f \log_2 \left( 1 + \frac{\theta_{0,5}^2}{2,46 \sqrt{\frac{D_B \Delta^2}{D_n}}} \frac{|N_0(f) + M(f)| J(f)}{|N_0(f) + M(f)| + \frac{R(f)}{|H_1(f)|}} \right), \quad (8)$$

де  $N_0(f)$  - білий шум;

$M(f)$  - коефіцієнт передачі;

$R(f)$  - нелінійний шум;

$H_1(f)$  - нелінійна передавальна функція першого порядку.

Оцінений вплив обмеженості лінійного динамічного діапазона антенно-приймальних пристроїв на пропуску спроможність РТС. При цьому для визначення цього впливу отримана величина дисперсії фази в нелінійних антенно-приймальних пристроях з урахуванням властивостей функціональних рядів Вольтерра. Визначена імовірність помилки в каналах з частотно-селективними завмираннями для автокореляційного і когерентного прийомів.

Зроблений теоретичний висновок про перевагу використання при частотно-селективних завмираннях автокореляційного прийому, а при їх відсутності - когерентного прийому радіосигналів. Що дозволило визначити залежність пропускну спроможності РТС від нелінійних інерційних процесів антенно-приймальному тракту.

Тому в **третьому розділі розроблена** методика по підвищенню пропускну спроможності ПВЧ і КВЧ РТС наземного контура управління КА при однопунктній технології побудови за рахунок удосконалення антенно-приймальних пристроїв на основі розробленого у другому розділі математичного апарату узгодження динамічних діапазонів з врахуванням проведеного аналізу впливу

радіофізичних ефектів на радіоканал. Отримані в першому розділі результати аналізу і дослідження що проводяться в роботі вказують на необхідність розробки науково-технічних пропозицій по побудові раціональної схеми наведення антенних систем, а також розробки алгоритму адаптивного прийому радіосигналів що враховує вплив флуктуаційних процесів в атмосфері Землі. Передусім розроблена раціональна схема наведення антенних пристроїв (мал. 1), що задовольняє вимогам до сучасним РТС, що забезпечується за рахунок поєднання діапазонів радіочастот, що використовуються. Зокрема, для режиму пошуку в антенних пристроях використовується ПВЧ - діапазон, а для режиму супроводу КВЧ - діапазон. Це дозволило розв'язати протиріччя між точнісними і динамічними характеристиками наведення антенних пристроїв.

У дисертації запропонований спосіб підвищення пропускної спроможності ПВЧ і КВЧ РТС на основі розробленого алгоритму адаптивного прийому сигналів. Вводяться вимоги по узгодженню до динамічного діапазона кожного каскада антенно-приймального пристрою. Робиться висновок про те, що перешкоди при прийомі радіосигналів в радіотракті в основному

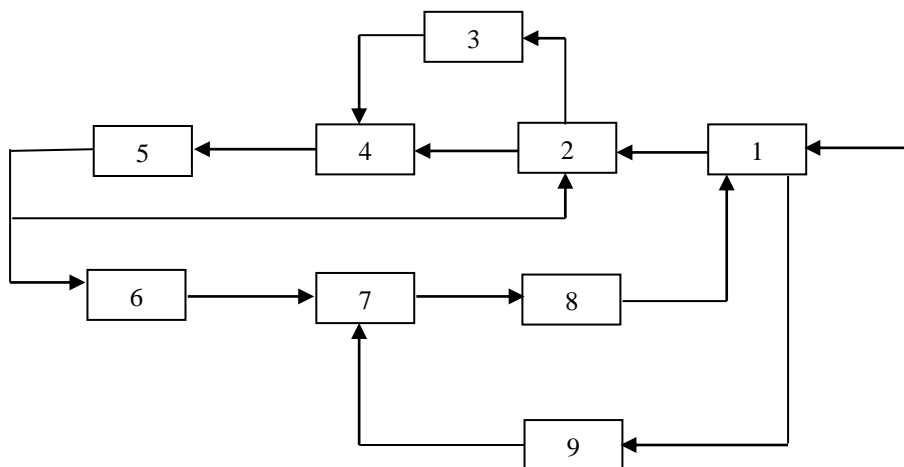


Рис.1. Структурна схема пристрою наведення що пропонується

- 1-антена;
- 2-дільник потужності;
- 3-блок відновлення;
- 4-ключ;
- 5-приймальний пристрій;
- 6-суматор;
- 7-віднімач;
- 8-силовий слідкуючий привід;
- 9-датчик зворотнього зв'язку.

характеризуються нелінійними спотвореннями третього порядку. На основі отриманих в роботі результатів, динамічний діапазон кожного каскаду антенно-приймальних пристроїв РТС визначається як

$$D_i = D_{\text{ант}} + 20 \lg \sqrt{n} + 20 \lg \frac{\Delta f_{\text{вх}i}}{\Delta f_{\text{уг}}}, \quad (9)$$

де  $n$  - кількість каскадів антенно-приймальних пристроїв.

При цьому повинно виконуватися умова

$$D_{\text{ану}} \geq D_{\text{сс}}, \quad (10)$$

де  $D_{\text{ану}}$ , - динамічний діапазон антенно-приймального тракту;

$D_{\text{сс}}$  - динамічний діапазон стежачої системи.

Після узгодження динамічних діапазонів реалізація розробленого алгоритму основана на застосуванні запропонованого в роботі (див. мал. 2) демодулятора адаптивного прийому. У ході досліджень була проведена оцінка пропускної спроможності РТС з використанням алгоритму

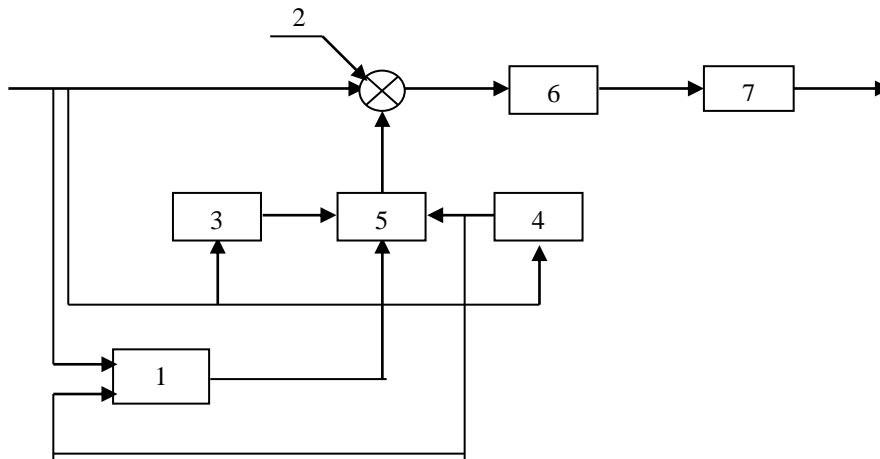


Рис. 2. Демодулятор адаптивного прийому ПВЧ и КВЧ радіосигналів

- 1 – аналізатор дисперсії фази;
- 2 – перемножувач;
- 3 – лінія затримки;
- 4 – формувач опорних коливань;
- 5 – комутатор аналогових сигналів с цифровим управлінням;
- 6 – інтегратор;
- 7 – блок визначення вхідного значення дисперсії фази сигналу що приймається.

адаптивного прийому для типових умов функціонування. При цьому для радіоканалу при  $h=2$  і величині фазових спотворень  $\Delta\varphi=60^\circ$  пропускна спроможність радіосистеми, що пропонується підвищується в  $\sim 1,2$  рази відносно існуючих когерентних РТС. У ході виконання дисертаційної роботи була розроблена методика оцінки пропускної спроможності наземного комплексу управління однопунктної технології, що дозволила визначити імовірність проведення сеансу управління. Дана методика заснована на визначенні умов відповідності інформаційних можливостей РТС вимогам по обслуговуванню КА із заданою якістю і оцінці пропускної спроможності РТС, яка визначає максимальний кількісний склад можливого низькоорбітального угруповання телекомунікаційної інфраструктури.

У **четвертому розділі** викладені результати експериментальних досліджень антенно-приймальних пристроїв РТС наземного комплексу управління КА при однопунктній побудові. Метою проведених експериментальних досліджень було практичне підтвердження теоретичних положень, викладених у другому розділі роботи, а також розроблених науково-технічних пропозицій по підвищенню пропускної спроможності РТС сантиметрового і

міліметрового діапазонів. Для досягнення поставленої мети і перевірки практичної працездатності, розроблених рекомендацій по підвищенню пропускної спроможності перспективних РТС в ході виконання експериментальних досліджень були вирішені наступні задачі:

- 1- Перевірка на практиці запропонованої системи наведення антенних пристроїв, яка здійснює раціональну побудову системи супроводу космічного об'єкта на основі мінімальних енергетичних витрат радіосигнала, що приймається при передачі даних з космічного апарату на РТС НКУ.
- 2- Експериментальна перевірка роботи алгоритму адаптивного прийому на основі вдосконалення приймальних пристроїв сантиметрового і міліметрового діапазонів довжин хвиль.
- 3- Оцінка пропускної спроможності наземного контура однопунктного управління космічними апаратами на основі розроблених науково-технічних пропозицій по підвищенню інформативності РТС.
- 4- Теоретична і експериментальна оцінка розроблених науково-технічних рекомендацій.

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз відомих методів підвищення пропускної спроможності ПВЧ і КВЧ РТС, показав, що засоби, що застосовуються для збільшення швидкості передачі інформації в нелінійних радіоканалах не дозволяють забезпечити необхідну імовірність помилкового прийому для перспективних телекомунікаційних систем при мінімальних енергетичних характеристиках каналу зв'язку. У дисертації показана принципова можливість створення інваріантних РТС по швидкості передачі інформації на основі адаптивного прийому до завадової обстановки.

Внаслідок виконання дисертаційної роботи був розроблений метод підвищення пропускної спроможності радіоканалу управління космічними апаратами на основі побудови наземного комплексу управління КА реалізуючого однопунктну технологію. У розробленому методі **науковою новизною** володіють:

1. нова постановка задачі оцінки впливу нелінійних інерційних процесів виникаючих в антенно-приймальних пристроях на пропускну спроможність РТС телекомунікаційних супутникових систем, що дозволила удосконалити науково-методичний апарат кількісної оцінки пропускної спроможності ПВЧ і КВЧ РТС на основі функціональних рядів Вольтерра;
2. запропонований спосіб підвищення пропускної спроможності ПВЧ і КВЧ РТС управління космічними апаратами супутникових систем зв'язку, на основі нового алгоритму адаптивного переходу від когерентного до автокореляційного прийому в залежності від величини фазових спотворень радіосигнала, що приймається;
3. Розроблений пристрій наведення антенних систем супроводу космічних апаратів, який дозволяє мінімізувати енергетичні витрати наземних РТС супутникового зв'язку;

4. Запропонована методика оцінки пропускної спроможності НКУ при реалізації однопунктної технології управління КА, яка є основою при побудові наземного сегмента управління телекомунікаційних супутникових систем. **Практичне значення отриманих результатів досліджень, що проводяться складається в наступному:**

1. На основі обліку впливу нелінійних інерційних процесів виникаючих в антенно-приймальних пристроях в методиці оцінки пропускної спроможності ПВЧ і КВЧ РТС отриманий коефіцієнт погіршення відношення сигнал-шум, що дозволяє кількісно оцінити пропускну спроможність РТС.

2. Розроблений алгоритм адаптивного прийому СВЧ і КВЧ радіосигналів дозволив підвищити пропускну спроможність на 100 біт/з при обміні командно-програмною інформацією і в 1,2 рази - телеметричною інформацією між РТС наземного пункту управління і ЦУП КА. Застосування запропонованого алгоритму адаптивного прийому радіосигналів в радіотехнічній системі забезпечує використання переваг когерентного і автокореляційного режимів з оперативним аналізом по величині дисперсії фази стану траси поширення радіохвиль в схемі інваріантних систем адаптивного прийому із заданою імовірністю помилкового прийому, що дозволяє застосувати загальну теорію адаптивних систем для вдосконалення радіосистем. Практичне використання створеним таким чином антенно-приймальних пристроїв, відповідно до вибраних рекомендацій, дозволяє істотно підвищити пропускну спроможність РТС в реальних умовах їх безперервного застосування. Очікуваний виграв пропускної спроможності становить 1,2 дв.ед./із з імовірністю помилки  $10^{-5}$ , в порівнянні з відомими аналогами з компенсацією нелінійних спотворень.

3. Розроблена система наведення антенних пристроїв супроводу космічних апаратів дозволяє зменшити енергетичні витрати РТС. У ході виконання дисертаційних досліджень був розроблений пристрій наведення антен, що дозволило підвищити точність наведення і супроводу космічних апаратів. Використання запропонованої схеми наведення антенної системи ПВЧ і КВЧ РТС дозволило розробити прийом сигналу радіосистемою з допустимою помилкою наведення АП  $0,15^\circ$ . Однак з точки зору стійкості більш оптимальним буде значення  $0,25^\circ$ , що перевищує вимоги до точності наведення сучасних систем ( $0,15^\circ$ ), і може забезпечити високу інформативність РТС НКУ КА. Крім того, значною мірою поліпшується функціонування кутомісної системи за рахунок оперативного переходу при наведенні від широкої діаграми спрямованості до вузької і зворотно при зриві наведення, а також при використанні стратегії переходу через зеніт, що пропонується.

4. Запропонована методика оцінки пропускної спроможності НКУ однопунктної технології управління КА дозволила скоротити час ТЦУ сеансу управління космічними апаратами на 15 %.

**Достовірність отриманих результатів підтверджується.**

Основні висновки і рекомендації даної роботи доведені теоретично, а також перевірені в процесі експериментальних досліджень. При цьому відмічається узгодження теоретичних і експериментальних результатів, які не суперечать відомим положенням теорії і практики радіотехнічних систем.

Основні наукові і практичні результати, отримані в роботі, впроваджені і отримані акти реалізації з військової частини А-1528 при виконанні НДР "Модернізація", "Центр" і "Управління", в Центрі управління польотів при виконанні НДР "Балістика-1", "Інтербол", "Гранат" і "Марс-96", а також в інтересах збройних сил України в Харківському військовому університеті НДР "Загроза" при розробці перспективних радіотехнічних систем прийому і передачі інформації міліметрового діапазона довжин хвиль. Матеріали роботи вміщені в 14 звітах по НДДКР, 7 наукових статтях і 11 опублікованих тезах доповідей. По матеріалах досліджень, проведених при виконанні даної роботи, отримано 1 декларативний патент на винахід.

#### **Результати дисертаційної роботи доцільно використати.**

Отримані результати в дисертаційної роботі представляється доцільним застосувати в радіотехнічних системах центрів управління космічними апаратами НАКУ КА.

#### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Козелков С.В., Пашков Д.П. Оценка пропускной способности СВЧ и КВЧ радиотехнических систем // Вестник СевГТУ "Информатика, электроника, связь".- Севастополь: СевГТУ.- 1999. - Вып.18 - С.158-160.
2. Козелков С.В., Ньюкин Н.В., Пашков Д.П. Анализ возможностей построения БНО КА. // Зб.наук.пр. -Харків: ХВУ.- 1999. - Вип.3 (25). - С.64-67.
3. Козелков С.В., Кулагин К.К., Пашков Д.П. Метод оценки пропускной способности объединенного центра управления полетом при управлении космическими аппаратами. // Ракетно-космічна техніка. - Харків: ХВУ. - 1999.- Вип.1.- С.131-135.
4. Козелков С.В., Пашков Д.П. Разработка метода повышения помехоустойчивости СВЧ и КВЧ РТС. // Системы контроля окружающей среды. - Севастополь: МГИ. - 1999. - С.147-149.
5. Козелков С.В., Пашков Д.П., Коваль И.Н. Анализ возможностей повышения эффективности спутниковых систем связи // Уч. зап. ТНУ. - Симферополь: ТНУ. - 1999. - Т. 12(51). - С.152-155.
6. Пашков Д.П. Разработка блок-схемы анализатора адаптивного приема радиосигналов СВЧ и КВЧ диапазонов // Системы обробки інформації. - Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. - 1999. - Вип.1(5). - С.176-178.
7. Пашков Д.П., Богдановский А.Н., Рачинский А.П. Анализ математических методов исследования нелинейных режимов работы в радиотехнических системах // Системы обробки інформації. - Харків: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. - 2001. - Вип.1(11). - С.152-155.



8. Пат. 43120 А Україна, МКИ G 01 S 1/04. Пристрій наведення: Пат. 43120 А Україна, МКИ G 01 S 1/04/ Д.П. Пашков, Н.А. Корольова, М.Б. Козелкова, О.П. Рачинський (Україна); Харківський військовий університет. - № 2001021329; Заявлено 26.02.01; Опубл. 15.11.01, Бюл.№10. - 7 с.

## АНОТАЦІЯ

Пашков Д.П. Метод підвищення пропускної спроможності радіоканалу управління космічними апаратами систем супутникового зв'язку. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі. Українська державна академія залізничного транспорту. - Харків, Україна, 2002.

Дисертаційна робота присвячена розробці методу підвищення пропускної спроможності радіоканалу управління космічними апаратами (КА) для низькоорбітальних угруповань з метою побудови понадвисокочастотних (ПВЧ) і крайньовисокочастотних (КВЧ) радіотехнічних систем (РТС) наземного комплексу управління (НКУ) при реалізації однопунктної технології побудови.

У дисертації розроблено спосіб підвищення пропускної спроможності ПВЧ і КВЧ РТС на основі алгоритму адаптивного прийому сантиметрового і міліметрового діапазонів довжин хвиль.

У роботі запропонован пристрій наведення антен систем наземних РТС НКУ, що забезпечує підвищення точності наведення і супроводу без істотного збільшення енергетичних витрат в радіоканалі.

Враховуючи особливості побудови наземного сегмента управління, автор розробив методику оцінки пропускної спроможності НКУ однопунктної технології.

Ключові слова: аналіз, пропускна спроможність, радіоканал, радіотехнічна система, космічний апарат, наземний комплекс управління.

## АННОТАЦИЯ

Пашков Д.П. Метод повышения пропускной способности радиоканала управления космическими аппаратами систем спутниковой связи. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта. – Харьков, Украина, 2002.

Работа посвящена разработке метода повышения пропускной способности радиоканала управления космическими аппаратами (КА) для низкоорбитальных группировок, поэтому целью диссертации является разработка метода повышения пропускной способности радиоканала управления космическими аппаратами при реализации однопунктной технологии построения наземного комплекса управления (НКУ), что достигается путем адаптивного приема радиосигналов и разработкой устройства наведения антенн в нелинейных сверхвысокочастотных (СВЧ) и крайневых высокочастотных (КВЧ) радиотехнических системах (РТС).

Проведен анализ существующих реализаций НКУ, определены основные достоинства и недостатки многопунктной и однопунктной технологий построения.

Исследованы особенности влияния среды распространения радиоволн на пропускную способность РТС. Разработана классификация основных радиофизических эффектов в атмосферном слое Земли по степени влияния на сверхскоростную передачу информации по радиоканалам.

На основе анализа антенно-фидерных трактов РТС был сделан вывод о том, что основным источником тепловых шумов, ограничивающих чувствительность приемных устройств, являются шумы антенных систем.

Проведен анализ особенностей проявления нелинейных искажений в приемных устройствах многокаскадных РТС. Определены условия согласования динамического диапазона антенно-приемных устройств РТС с динамическим диапазоном входных воздействий.

Проведена оценка применимости известных способов повышения пропускной способности РТС управления КА. В ходе работы были получены зависимости шумовой температуры параболических антенн от угла места, которые позволили сделать вывод об оптимальности использования СВЧ и КВЧ диапазонов длин волн по уровню шумовой температуры.

Используя усовершенствованный в диссертации математический аппарат анализа нелинейных радиоустройств на основе функциональных рядов Вольтерра, исследованы граничные условия устойчивости нелинейных антенно-приемных устройств РТС при наличии на трассе распространения радиоволн частотно-селективных замираний (ЧСЗ).

В связи с этим, в диссертации предложен метод, который в себя включает:

- способ повышения пропускной способности СВЧ и КВЧ РТС на основе алгоритма адаптивного приема радиосигналов сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн. Данный способ учитывает влияние ЧСЗ на качество приема и обработки радиосигналов. По величине фазовых искажений  $\Delta\varphi$  этот способ обеспечивает адаптивный переход к более оптимальной схеме наведения антенного устройства и оптимальному режиму обработки сигнала. Уточнено значение  $\Delta\varphi \geq 60^\circ$ , при

котором осуществляется переход от когерентного приема к автокорреляционному приему радиосигналов в нестационарных каналах передачи информации;

- устройство наведения антенн СВЧ и КВЧ РТС НКУ, обеспечивающее повышение точности наведения и сопровождения без существенного увеличения энергетических затрат в радиоканале;
- методику оценки пропускной способности НКУ, которая учитывает особенности построения наземного сегмента управления КА при реализации однопунктной технологии.

На основе выполненных исследований были разработаны рекомендации по синтезу наземной РТС и реализации технических решений ее построения. Теоретические исследования были подтверждены проведенным экспериментом.

На основе разработанного научно-методического аппарата, учитывающего искажения сигналов в антенно-приемном тракте вызванные нелинейными инерционными процессами, может быть повышена пропускная способность радиоканала управления низкоорбитальными космическими аппаратами систем спутниковой связи и определены пути совершенствования РТС наземного автоматизированного комплекса управления КА при реализации однопунктного построения НКУ.

Результаты диссертационной работы представляется целесообразным применить при разработке и модернизации радиотехнических систем наземного комплекса управления космических аппаратов спутниковой связи.

Ключевые слова: анализ, синтез, метод, радиоканал, радиотехническая система, космический аппарат, управление, исследования, алгоритм.

## SUMMARY

Pashkov D.P. Rising method of carrying capacity management radio channel ability by cosmic vehicles of communication networks satellite. – Manuscript.

Thesis for a doctor's degree on speciality 05.12.02 - telecommunication systems and nets. Ukrainian state academy of railway transport. - Kharkov, Ukraine, 2002.

Thesis work sacred to rising method of carrying capacity management radio channel ability by cosmic vehicles (CV) for low orbit grouping by way construction of radiotechnical systems (RS) of ground management (GM) complex attached to realization monopunktial construction technology.

In the dissertation is worked up a rise method of carrying capacity of microwave (MV) and highly microwaves (HNV) RS on algorithm base of adaptive taking centimetric and millimetric waves lengths ranges.

In the work is offered an induction scheme of aerial systems of ground RS GM providing the lowering of power induction device expenditures for account of induction exactness rise.

Taking into account the construction peculiarities of ground management segment author worked up estimation methods of carrying ability GM monopunktial technology.

Key words: analysis, synthesis, method, radio channel, radiotechnical system, cosmic vehicles, ground complex control.