

УДК 621.67,535

О.А. Моргун<sup>1</sup>, О.Л. Поляков<sup>2</sup>, С.Є. Ломоносов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Європейський університет, Київ

<sup>2</sup> Державне космічне агентство України, Київ

Південний центр радіотехнічного спостереження, Севастополь

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ ОКРЕМИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВУЗЛІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І АНАЛІЗУ КОСМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

У статті розглядаються ключові напрямки вдосконалення окремих радіотехнічних вузлів (ОРТВ), здійснена постановка основних завдань модернізації й надані пропозиції щодо шляхів їх вирішення.

**Ключові слова:** окремі радіотехнічні вузли, система контролю та аналізу космічної обстановки, модернізація, вимірювання.

### Вступ

Заселеність навколоземних орбіт стала настільки насиченою, що виникають значні труднощі при пошуку безпечної орбіти для космічних апаратів (КА), що запускаються, а також при забезпеченні функціонування КА з погляду запобігання зіткнень із космічним сміттям.

Таким чином, для України як космічної держави, є важливим ефективно використовувати наявні ресурси з метою забезпечення власних інтересів у космічній сфері, а так само забезпечення стабільного нарощування потенційних можливостей для не-

допущення втрати конкурентоспроможності галузі й мінімізації витрат на закупівлю послуг по іноземним пропозиціям [1]. Для цього в Україні створена система контролю й аналізу космічної обстановки (СКАКО).

Національна СКАКО призначена для: збору, обробки й аналізу даних про стан космічної обстановки від національних засобів контролю космічного простору (ККП) різної приналежності й інших джерел, включаючи іноземні; підготовки й видачі споживачам різного рівня даних про космічні об'єкти (КО), стан й тенденції розвитку космічної обстановки, космічної діяльності держав.

Головною проблемою, виявленою в ході функціонування системи, стало обмеження можливостей по наповненню головного й часткового каталогів об'єктивною координатною інформацією від національних вимірювальних систем [2].

У цей час забезпечити потік вимірювальної інформації з великої кількості об'єктів можуть тільки ОРТВ. Наявні оптичні ж системи можуть ефективно працювати тільки в режимі уточнення орбіт і виявлення геостационарних КО.

Таким чином, на даний момент розв'язання завдань відновлення даних загального й часткового каталогів СКАКО по знову запущеним, балістичним, цілям, що маневрують, і складним базується на даних, отриманих від ОРТВ.

**Метою статті** є аналіз стану й дослідження перспектив використання вітчизняних ОРТВ для виконання завдань контролю космічного простору.

**Аналіз літератури.** Аналіз літератури та опит експлуатації аналогічних систем РФ свідчить про можливість проведення модернізації радіотехнічних засобів [2, 3] в питаннях переходу на нову елементну базу й синтезу алгоритмів з використанням сучасних математичних моделей руху космічних об'єктів [4].

### Розділ основного матеріалу

На сучасному етапі використання СКАКО ставиться завдання балістичного забезпечення запуску та управління КА, вирішення питань моніторингу космічного простору на предмет виявлення фрагментів «космічного сміття» на низьких, високоеліптичних і геостационарних орбітах, їх розпізнавання й подальшої класифікації [5].

Крім того, з метою подальшого розширення можливостей СКАКО необхідна розробка й створення специфічних програмних комплексів оцінки точностних і просторово-часових характеристик радіотехнічних засобів ККП.

Для реалізації цих завдань виникає необхідність:

- створення спеціальних програмно-технічних комплексів виявлення, розпізнавання й класифікації КО;
- удосконалення існуючого спеціального програмно-технічного комплексу (СПТК) супроводу КО («космічного сміття»);
- перехід на сучасні засоби приймання й обробки радіолокаційних сигналів;
- заміна обчислювального комплексу та комплексу управління ОРТВ;
- створення СПТК керування, контролю й відображення інформації ОРТВ;
- створення програмного комплексу видачі цілевказівок і порядку супроводу КО в зонах огляду ОРТВ згідно з запитами ЦККП.

### Призначення та основні принципи функціонування ОРТВ

Окремі радіотехнічні вузли є надгоризонтними радіолокаційними станціями, що працюють у межах прямої видимості (рис. 1).

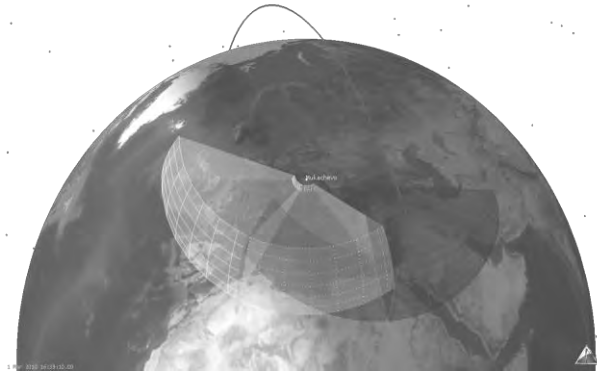


Рис. 1. Зони огляду ОРТВ:  
м. Севастополь, м. Мукачеве

Вони здійснюють безперервну розвідку космічних об'єктів у межах своєї зони огляду, що мають форму просторового сектору й призначені для розв'язку наступних основних завдань:

- виявлення цілей у межах зони огляду;
- супроводу й виміру їх координат об'єктів;
- розрахунок параметрів орбіт, супровід цілей за даними радіолокаційних вимірів;
- визначення типу цілей (що пролітає, атакує, аеродинамічна й ін.);
- видача інформації про супроводжувані цілі у ЦККП.

Розв'язання перерахованих завдань передбачає поетапну роботу. ОРТВ представляє станцію, до складу якої входить електронно-керуюча машина (ЕКМ), що забезпечує обробку радіолокаційної інформації й керування станцією. Увесь процес функціонування ОРТВ здійснюється автоматично, шляхом реалізації бойових алгоритмів. Необхідною умовою для автоматичного виявлення й супроводу цілей є забезпечення необхідного відношення між рівнем сигналу й рівнем перешкод. Крім того, повинна виконуватися певна логіка, згідно з якою сигнали можна вважати приналежними одній й тій же цілі. У зв'язку із цим послідовність бойового циклу роботи ОРТВ може бути представлено у вигляді трьох етапів. Причому на кожному з них до станції пред'являються специфічні вимоги.

На першому етапі, "пошуку" цілей, завданням ОРТВ є виявлення цілей на максимально можливих відстанях у мінімальний термін, "грубий вимір їх координат", відсівання неправильних ехо-сигналів, зв'язка траєкторій з необхідною вірогідністю.

На другому етапі, "захвату" цілей, завданням ОРТВ є по можливості більш раннє визначення координат цілей з точністю, що дозволяє робити нада-

лі її супровід, і забезпечення необхідної розв'язної здатності.

На третьому етапі, "супроводу", завданням ОРТВ є точне визначення координат цілей і параметрів їх руху.

Виходячи з вищесказаного, у ОРТВ передбачено кілька режимів роботи. Перехід від одного режиму роботи до іншого здійснюється автоматично відповідно до бойового алгоритму.

У процесі огляду простору ОРТВ робить безпервне виявлення сигналів від цілей і сигналів активних, пасивних перешкод. При появі сигналів пасивних перешкод (типу відбиттів від авроральних областей) з ЕКМ видається команда на включення спеціальних фільтрів у каналі виявлення цілей, за допомогою яких ці перешкоди режектуються. Таким чином, виключається вплив перешкод даного типу на роботу ОРТВ. У режимі виявлення випромінюється "гладкий" не модульований сигнал і станція вимірює азимут, дальність і радіальну швидкість руху цілі. Ціль вважається виявленою, якщо по отриманих від цієї цілі в режимі виявлення оцінкам відбулася відповідно до певного критерію зв'язка траєкторій, тобто, виявлена траєкторія цілі. Із загального числа  $M$  виявлених цілей вибирається відповідно до певного критерію, що враховує важливість, безпеку цілі, цілей, які передаються на "захват" й "супровід".

У режимах "захвата" й "супроводу" випромінюється фазоманіпульований сигнал, що дозволяє підвищити точність виміру координат цілей. Вимірюються кут місця, азимут, дальність цілі, а також доплерівський зсув частоти й амплітуда ехо-сигналу. При цьому діаграма спрямованості антени виставляється по цілевказівках від ЕКМ у напрямку виявленої або взятої на супровід цілі й на неї випромінюється певне число імпульсів. У режимі "захват + супровід" до кожної цілі РЛС переходить через інтервал часу ТЦ секунд. Отримана інформація після відповідного згладжування використовується в бойовому алгоритмі ОРТВ для визначення параметрів траєкторії руху цілі. Щоб визначити ці параметри з необхідною точністю, потрібно одержати  $n$  вимірів. Тому кожна ціль на супроводі повинна перебувати не менш чим  $nT_c$  секунд, після чого вона може бути знята із супроводу.

У ОРТВ передбачений спеціальний режим роботи "Режим фазотраєкторного накопичення (ФТН)", який дозволяє шляхом використання точних вимірів радіальної швидкості й радіального прискорення суттєво підвищити точність визначення параметрів траєкторії руху цілі, отриманих на етапі супроводу. У цьому режимі роботи на ціль, обрану відповідно до алгоритму, випромінюється "пачка" імпульсів, визначаються в результаті їх обробки значення  $V_r$  і  $\dot{V}_r$ . Наступний момент послілки

"пачки" імпульсів на цю ціль в режимі ФТН відбувається через 15 с. Режим ФТН по кожній цілі триває до 1,31 сек.

У випадку виникнення активних перешкод і неможливості визначення координат цілей, що фіксується, наприклад, по проваллю інформації, ОРТВ у режимі виявлення визначає грубе положення завадоносія по азимуту, а потім автоматично переходить у режим його супроводу. При цьому визначаються кутові координати носія, які використовуються в бойовому алгоритмі для визначення параметрів траєкторій його руху.

Джерелом вхідної інформації для комплексного бойового алгоритму (КБА) є чотири радіолокаційні канали (РЛК) ОРТВ. Кожний РЛК може перебувати в одному з наступних режимів роботи:

- виявлення;
- захвата або супроводу;
- фазотраєкторного накопичення;
- накопичення координатної інформації.

Наведена вище схема обробки вимірювальної інформації з метою ведення каталогу космічних об'єктів є природною, однак в умовах експлуатації малопунктної системи вимірювальних засобів до вихідних даних, при яких вирішується завдання ведення каталогу, пред'являються підвищені вимоги по точності, обсягах і оперативності видачі вимірів.

У процесі дослідження проведений аналіз поточного стану ОРТВ і проаналізовані можливі напрямки по модернізації ОРТВ.

У результаті роботи запропонований ряд заходів, спрямованих на підтримку функціонування ОРТВ і поліпшення її основних параметрів, таких як зниження енергоспоживання, підвищення надійності засобів, підвищення точності вимірів, підвищення вірогідності даних. Так само враховані перспективи розвитку системи контролю й аналізу космічної обстановки (СКАКО) і можливість розв'язання нових перспективних завдань.

Розглянемо принципи виміру координат (параметрів оцінок).

Дальність  $R$  визначається за часом затримки  $t_3$  ехо-сигналу, що перевищив поріг виявлення, щодо зондувального сигналу:

$$R = Ct_3 / 2.$$

Дискретність відліку часу затримки  $t_3 = 320$  мкс, що відповідає дальності  $R = 48$  км.

Уточнення дальності проводиться за часом затримки піка стислого ехо-сигналу, дискретність відліку часу затримки 6,25 мкс, що відповідає дальності  $R = 1,9$  км.

Даний показник не повною мірою задовольняє вимогам ЦККП. У розв'язанні ряду завдань виникає необхідність визначення точності по дальності в межах декількох сотень, а іноді й десятків метрів. Крім того, наявність даного показника прямо зале-

жить від потужності зондувального сигналу, яка визначає дальність виявлення КО.

Радіальна швидкість цілі  $V_r$  визначається по частоті Доплера  $F_d$ , яка вимірюється по частоті настроювання доплер-фільтра,

$$V_r = F_d / 2.$$

Дискретність відліку радіальної швидкості  $V_r=740$  м/с. У межах строба по радіальній швидкості здійснюється уточнення радіальної швидкості цілі по співвідношенню амплітуд сигналів на 3-х виходах доплерівського суматора матричного фільтра стиску. Даний параметр є ключовим у розрахунках орбітальних параметрів руху КО й багато в чому визначає кінцеву точність уточнення початкових умов.

Азимут цілі відповідає азимутальному положенню діаграми спрямованості (ДС) в такті і має дискретність 0,001 радіан. У межах ДС по азимуту проводиться уточнення азимутального положення цілі спектральним методом (по співвідношенню амплітуд сигналів з фільтрів верхньої й нижньої частоти).

Кут місця цілі  $\gamma$  визначається фазовим методом за значенням різниці фаз  $\Delta\phi$  сигналів, прийнятих верхньою й нижньою антенними структурами, фазові центри яких рознесені на величину  $d=6$  м. Для перерахування використовуються поліноми 3 і 4 ступеня, що описують залежність, а також константи й коефіцієнти для кожного РЛК (реалізоване спе-

ціальними підпрограмами). Приблизно кут місця можна оцінити по формулі:

$$\gamma = \arcsin(\lambda \Delta\phi / 2\pi d),$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі.

Надалі в результаті кореляційної обробки проводиться вимір похідних дальності, радіальної швидкості й прискорення цілі в межах однозначного виміру. Дискретність відліку радіальної швидкості – 1,44 м/с, а радіального прискорення – 4,4 м/с<sup>2</sup>.

Таким чином, у цей час можливості ОРТВ (рис. 2) визначаються наступними характеристиками:

Дальність виявлення:

– розрахункова дальність виявлення – 5600 км (реальна 4800 км); з використанням одного передавача в каналі – 2700 км.

Роздільна здатність:

– по дальності – 2200 м;  
– по азимуту – 30 – 40 кутових хвилин;  
– по радіальній швидкості – 1000 м/с.

Максимальні помилки (точність):

– по дальності – 1500 м;  
– по азимуту – 13 кутових хвилин;  
– по куту місця – 50 кутових хвилин;  
– по радіальній швидкості – 10 м/с;  
– по азимутальній швидкості – 0,2 – 0,3 хв/с;  
– по кутомістній швидкості – 0,6 – 1,0 хв/с.

Пропускна здатність по цілям:

– у режимі виявлення – 150 цілей;  
– у режимі супроводу – 18 цілей.

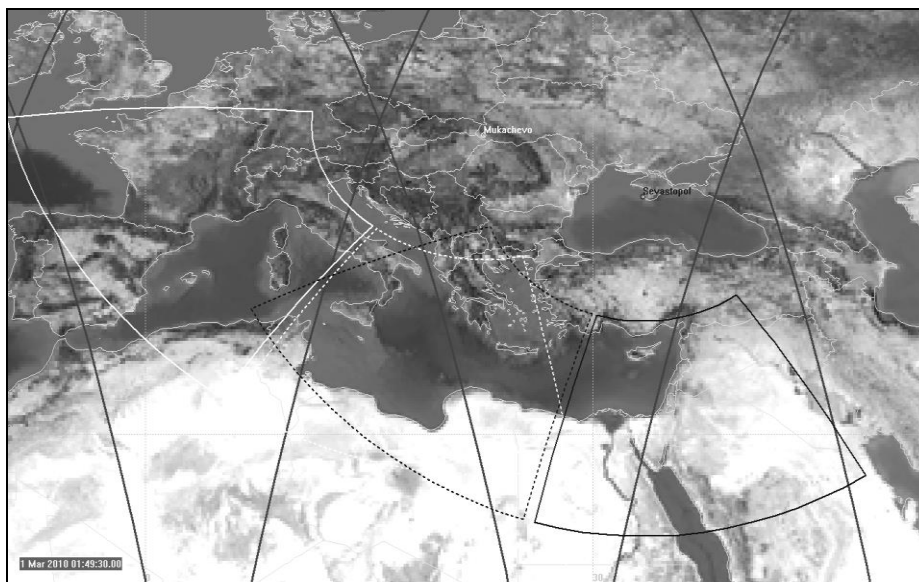


Рис. 2. Траєкторія польоту низькоорбітального КО крізь зони огляду ОРТВ

#### **Аналіз якості функціонування ОРТВ в інтересах виконання завдань СКАКО**

З метою оптимізації процесу експлуатації, удосконалення системи реєстрації, каталогізації, відображення й обробки інформації періодично відбу-

ваються випробування як всієї СКАКО, так і її окремих елементів.

До заходів залучаються і ОРТВ. У ході роботи з моніторингу навколосемного космічного простору відбувається вимірювання параметрів руху як су-

проводжуваних КО, так і еталонних ILRS (таких, що мають високо стабільні орбіти та відкритий доступ до цієї інформації).

Отримані в такому режимі виміри проходять обробку СПТК ЦККП на предмет порівняння з еталонними даними каталогу NORAD. Розбіжності даних по простору становлять від сотні метрів до 3 км в залежності від часу накопичення інформації та режимів її обробки.

Ці дані, на перший погляд, можуть задовольнити вимоги ЦККП по забезпеченню супроводу пріоритетних об'єктів, але слід урахувати, що КО класу ILRS спеціально призначені для тестування вимірювальних засобів і мають стабільну орбіту й велику ЕПР.

Однак стійка тенденція використання малогабаритних КО висуває підвищені вимоги до джерел координатної інформації.

Так, по своїм технічним можливостям ОРТВ здатні проводити виявлення й вимір вектора руху КО з точністю порядку від 800 м до 7–12 км по положенню й порядку 0.5 км/с по швидкості. Значна відмінність даних визначається низькою точністю виміру азимуту, яка в 4 рази гірше необхідних значень, що вносить основну помилку у визначенні положення. Внесок даної помилки може сягати десятків кілометрів.

Однак опит використання сумісних вимірювань всіх засобів ККП свідчить про можливість проводити супровід об'єктів з точністю по положенню порядку одиниць кілометрів. При цьому дана точність забезпечується тільки при одночасному використанні даних ОРТВ м. Севастополь і м. Мукачеве.

Таким чином, отримані результати дозволяють зробити висновок про можливість застосування ОРТВ в виконанні завдань балістичного забезпечення запуску та управління КА широкого класу, включаючи малогабаритні.

Але слід враховувати, що представлені дані є результат обробки набору вимірів обох ОРТВ, вимірювальна інформація піддана згладжуванню й виключенню аномальних вимірів.

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок про необхідність пошуку шляхів підвищення якості функціонування ОРТВ. Алгоритмічно підвищити точність виміру координат досить важко, тому що використовувані алгоритми створювалися з урахуванням апаратури того часу (дана апаратура морально застаріла, промисловістю не виробляється, а технічна документація відсутня) і зазнали багаторазової корекції.

Застосування нових алгоритмів роботи станції можливо тільки після переходу на сучасну елементну базу. Це повною мірою ставиться до прийомної апаратури, у якій обробка проводиться в аналоговому вигляді.

### *Можливі шляхи вдосконалення програмного комплексу та апаратури ОРТВ*

У світовій практиці досить широко застосовуються різні алгоритми згладжування, варіювання якими дозволить підвищити точності в різних умовах заводової обстановки.

Як показала практика експлуатації, найбільші помилки відбуваються при вимірі кута місця. Це обумовлене принципами, закладеними при розробці ОРТВ, і вимагає комплексного підходу до розв'язку завдання, пов'язаному з переходом на цифрову обробку, заміною обчислювального комплексу й наступною розробкою нового комплексного алгоритму управління та функціонування вузлів.

Важливими напрямками є вдосконалювання передавальної апаратури. Сучасні технології дозволяють використовувати апаратуру чи адаптовані аналоги телевізійних та радіо систем, що значно зменшить вартість експлуатації, та надасть можливість подальшої розробки алгоритмів і методик виконання цільових завдань СКАКО.

Одним з напрямків модернізації є заміна табло відображення характеристик цілей і табло стану засобів на сучасні рідкокристалічні табло та використання персональних комп'ютерів, сполучених з інформаційною мережею ЦККП. Це дозволить створити єдине інформаційне поле між системою управління, контролю, та вимірювальними засобами СКАКО.

На даний момент розроблено в експериментальному режимі, використовується апаратно-програмний комплекс на базі персонального комп'ютера, який відображає характеристики цілей на екрані монітора. Проведена робота свідчить, в першу чергу, про можливість створення приладів такого класу і відносно невисоку вартість і час реалізації.

Керування всіма процесами станції здійснюється електронно-керуючими машинами 5E73 70-х років виробництва, які не можуть розглядатися як засіб розв'язку завдань по продуктивності й експлуатаційним характеристикам.

Єдиним виходом у ситуації, що створилася, є заміна ЕКМ на сучасні промислові комп'ютери з інсталюваними на них програмами, моделюючими (МП) роботу 5E73, що дозволить на початковому етапі використовувати існуючу бойову програму без внесення змін в елементи трактів та порядок виконання обчислювальних операцій.

На МП покладаються наступні функції:

- керування апаратурою виробу 5Н86 і обробка інформації кабельного шлейфу (КШ);
- виконання й налагодження програм у складі комплексного алгоритму;
- додатковий аналіз інформації виробу 5Н86 і перевірка функціонування апаратури ОРТВ;
- тестування встаткування ЕОМ;
- використання периферійних пристроїв.

Відповідно до викладених вимог до складу МП повинні входити наступні програми:

- програма-імітатор ЕКМ 5Е73;
- програма тестування систем і вузлів;
- програма автономного відображення інформації про процеси й стан засобів;
- програма контролю програмного оточення й устаткування ЕОМ на наявність і справність окремих компонентів;
- відображення інформації;
- сервісних програм.

Крім штатного режиму, програмне забезпечення повинне забезпечувати функціонування апаратури ОРТВ в наступних режимах.

Стартовий режим, у якому тестується встаткування ЕОМ і вибираються режим роботи автоматично або в діалозі з оператором.

Режим автономного налагодження програм у системі команд 5Е73. Можлива робота в складі комплексного моделюючого алгоритму з метою перевірки функціонування ОРТВ.

Режим відображення інформаційних процесів кабельного шлейфа повинен здійснювати відображення інформації КШІ на екрані монітора й надавати можливість роботи з файлами й аналізу їх змісту.

### Висновки

1. Окремі радіолокаційні вузли мають важливе значення в створенні національної системи контролю й аналізу космічної обстановки й вимагають використання їх у єдиній системі вимірювальних засобів для розв'язання найскладніших завдань визначення параметрів орбіт низькоорбітальних та малогабаритних космічних об'єктів.

2. Успішно проведені роботи по взаємодії технічних засобів системи ККП у єдине ціле показали, що, за умов модернізації, ОРТВ здатні забезпечувати споживачів координатною інформацією в необхідному обсязі й з достатньою точністю.

3. Системи можуть приймати безпосередню участь у роботах із забезпечення запусків КО, веденню каталогів, а в перспективі брати участь у

розв'язанні завдань ідентифікації космічних об'єктів (створення радіолокаційних портретів).

4. Технічна база й алгоритми, закладені в апаратуру, дозволяють здійснити модернізацію основних вузлів і елементів апаратури РЛС. Можливість та ефективність проведення таких робіт підтверджується досвідом експлуатації аналогічних станцій у РФ.

5. Тенденції розвитку супутникових технологій визначили підвищені вимоги до вимірювальних засобів ККП. У зв'язку із цим актуальне проведення поетапної модернізації ОРТВ з доведенням характеристик усіх радіолокаційних вузлів по функціональності, дальності дії й точності до характеристик сучасних технічних засобів. В основу цієї роботи повинні бути покладені принципи, що дозволяють:

- обробляти відбиті від цілі сигнали зі значно більшими можливостями по точності, обсягах, оперативності й завадостійкості;
- реалізувати алгоритми роботи станції залежно від поставлених завдань і умов експлуатації;
- забезпечити подальше вдосконалювання вузлів станції й алгоритмів роботи разом з раніше створеною технічною базою.

### Список літератури

1. Шелипов В.И. Украина в созвездии космических государств / В.И. Шелипов // Зеркало недели. – 1997. 1 февр.
2. Кукушкин М.Н. Пространственно-временные показатели информационных возможностей ОКИК / М.Н. Кукушкин, А.П. Максименко // Информационные системы: сборник научных трудов. – Х.: ХВУ, 1999. – Вып. 1 (12).
3. Космічні системи воєнного призначення (довідник). Ч. 1. – К.: МО України, 1996.
4. Космические радиотехнические комплексы / Под ред. Г.В. Стогова. – Воениздат, 1986.
5. Горбулін В.П. Про державну космічну програму України / В.П. Горбулін, А.П. Завалишин, О.О. Негода, Я.С. Яцків // Космічна наука і технологія. – 1995. – Т.1. – №1. – С. 7-12.

Надійшла до редколегії 4.07.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Полтава.

### АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УЗЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

А.А. Моргун, А.Л. Поляков, С.Е. Ломоносов

*В статье рассматриваются ключевые направления совершенствования отдельных радиотехнических узлов (ОРТУ), осуществлена постановка основных задач модернизации и представлены предложения относительно путей их решения.*

**Ключевые слова:** отдельные радиотехнические узлы, система контроля и анализа космической обстановки, модернизация, измерения.

### ANALYSIS MAIN DIRECTIONS OF MODERNIZATION OF CERTAIN RADIO ENGINEERING UNITS FOR SOLVING PROBLEMS OF CONTROL AND ANALYSIS SPACE CONDITIONS

A.A. Morgun, A.L. Polakov, S.E. Lomonosov

*The paper examines key areas of improvement of individual radio units (ORTV) staged by the main tasks of modernization and provided suggestions for solutions.*

**Keywords:** single radio nodes, control and analysis of space environment, modernization measurement.