

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Богом'я Володимир Іванович

УДК 629.783: 629.785

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ
АДАПТИВНОЇ КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ
СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

Автореферат дисертації на здобуття наукового
ступеня доктора технічних наук

Харків – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Київській державній академії водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: Лауреат Державної премії України у галузі науки і техніки, Премії ім. акад. М.К. Янгеля НАН України, доктор технічних наук, професор
Азарсков Валерій Миколайович, Національний авіаційний університет Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри систем управління літальних апаратів Інституту аерокосмічних систем управління.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Єрмаков Геннадій Валентинович, Національний технічний університет «ХПІ» Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри бронетанкового озброєння та військової техніки факультету військової підготовки.

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Савченко Віталій Анатолійович, Національний університет оборони України імені Івана Черняховського Міністерства оборони України, начальник кафедри застосування інформаційних технологій та інформаційної безпеки Інституту інформаційних технологій.

доктор технічних наук, професор
Шелевицький Ігор Володимирович, Криворізький національний університет Міністерства освіти і науки України, завідувач кафедри інформатики та прикладного програмного забезпечення.

Захист відбудеться “_____” _____ 2014 р. о “_____” годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.052.03 при Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, просп. Леніна, 14, м. Харків

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки.

Автореферат розісланий “_____” _____ 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Відомо, що забезпечення розвитку сучасних космічних технологій в Україні є важливим чинником, що визначає стратегічне місце держави у світі. Нажаль, сьогодні існує значна диспропорція між рівнем космічного потенціалу та його впливом на вирішення актуальних загальнодержавних і суспільних завдань, у тому числі при функціонуванні процесів навігації і управління рухом у космічному просторі, засобів їх навігаційного обслуговування.

Однією з основних причин виникнення цієї диспропорції є низька ефективність функціонування комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів, як сукупності функціонально взаємопов'язаних радіотехнічних і оптичних космічних засобів, інших орбітальних та наземних технічних засобів, які призначені для забезпечення вирішення цільових завдань.

Слід зазначити, що постійний розвиток космічних технологій приводить до значного збільшення кількості та складності цільових завдань космічних апаратів. Аналіз заходів Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2013–2017 роки показує, що існуючий погляд вітчизняної науки щодо створення (модернізації) відповідних систем спостереження та розпізнавання конкретних типів космічних апаратів не враховує сучасних тенденцій розвитку перспективних систем спостереження та розпізнавання і не відповідає вимогам міжнародної космічної ініціативи EXPLORATION щодо освоєння далекого космосу та рекомендаціям CCSDS (Міжнародного консультативного комітету з космічних систем передавання даних) щодо спостереження за космічними апаратами.

На цей час в Україні присутня однопунктна технологія спостереження за космічними апаратами, яка має значні недоліки: низький рівень ефективності функціонування, який заключає в собі підвищення кількості наземних станцій спостереження при низькій їх завантаженості у відповідності до запуску нового космічного апарату; велика кількість обслуговуючого персоналу; неспроможність станції спостереження реагувати на зміни режимів функціонування космічних апаратів. Заходами Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2013–2017 роки передбачається запуск нових космічних апаратів під час створення відповідних нових систем спостереження та розпізнавання, що є застарілим підходом.

Також Україна є членом багатьох міжнародних проектів («Радіоастрон», «Либідь», «Циклон-4», «Іоносат» та ін.) та багатьох міжнародних космічних організацій (COPUOS – комітету ООН з дослідження і використання космічного простору; CEOS – комітету зі супутникового нагляду Землі; «Интерспутник» – міжнародної організації космічного зв'язку та ін.), тому має розвивати свою національну систему спостереження та розпізнавання космічних апаратів з урахуванням міжнародних вимог та рекомендацій (у тому числі CCSDS – Консультаційного комітету із систем передавання космічних даних в доповнення до рекомендацій, ISO – Міжнародної організації зі стандартизації, ITU – Міжнародного союзу електрозв'язку). Це зумовлює необхідність проведення

відповідних досліджень для забезпечення адаптації до ускладнення цільових завдань і обмеженнями ресурсів на спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

Таким чином, **актуальним** є вирішення науково-прикладної проблеми *створення адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів в умовах постійного зростання складності цільових завдань і обмеження ресурсів на спостереження й розпізнавання.*

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в межах Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008–2012 р., затвердженої Законом України від 30.09.2008 р. №608-VI (заходи «Кадр», «Інфраструктура», «Управління»).

Результати, які відображені у дисертаційній роботі, отримани у науково-дослідних роботах, що проводилися: у *Державному космічному агентстві України* при виконанні ДКР щодо створення наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами космічної системи «Січ» (здобувачем розроблені технічні пропозиції для підвищення ефективності управління космічними апаратами); у *Центрі контролю космічного простору* НЦУВ КЗ, під час розроблення технічних вимог, програм і методик випробувань наземних радіотехнічних та оптичних засобів (здобувачем розроблені рекомендації щодо виявлення космічних об'єктів на геостационарної орбіті за допомогою оптичних космічних засобів); у *Центрі управління польотами космічними апаратами* НЦУВ КЗ, під час розроблення технічних завдань, програм і методик випробувань та дослідній експлуатації програмно-апаратних комплексів аналізу роботи бортових систем «Січ-2» (здобувачем розроблені технічні пропозиції щодо підвищення ефективності оцінки телеметричної інформації про стан бортових систем космічних апаратів); у *Державному підприємстві «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління»* при виконанні НДР «Обґрунтування-КС» (здобувачем розроблені експлуатаційні вимоги до морських та наземних пунктів спостереження щодо наявності радіозв'язку з космічними апаратами). Здобувач був виконавцем у вищенаведених НДР та ДКР.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесів спостереження та розпізнавання космічних об'єктів в умовах однопунктної технології управління КА за допомогою розроблення методологічних основ адаптації КССР.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі сформульовані і вирішені такі основні завдання:

1. Проведено аналіз відомих підходів щодо підвищення ефективності процесів спостереження та розпізнавання.
2. Сформована структура адаптивної комплексної системи ефективного спостереження та розпізнавання космічних апаратів.
3. Сформовані функції та структура контролю комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.
4. Розроблена модель оперативного планування роботи засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

5. Розроблені науково-технічні способи підвищення ефективності функціонування комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

6. Проведений порівняльний аналіз та визначення оцінювання ефективності адаптивної комплексної системи спостереження й розпізнавання космічних апаратів.

Об'єкт дослідження – процеси спостереження та розпізнавання КА в умовах однопунктної технології управління космічними апаратами.

Предмет дослідження – методологічні основи створення системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

Методи дослідження. Теоретичною базою для вирішення наукової проблеми є основні роботи в теоріях варіаційного числення, статистичного аналізу, інформації, побудови антенних систем і радіоприймальних пристроїв, оптимального управління. Під час вирішенні часткових завдань використовувався апарат математичного аналізу, теорії масового обслуговування. Поряд з аналітичними розрахунками у дисертаційній роботі використовувалося імітаційне математичне моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у такому:

1. Вперше досліджені закономірності впливу безперервного самокоректування стану системи спостереження та розпізнавання залежно від зміни режиму функціонування та за результатами дослідження визначено модель функціонування адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів, відмінною особливістю якої є можливість у напружених режимах функціонування системи отримувати ефект еквівалентний ефекту мінімаксного оператора, у спокійних ситуаціях отримувати ефект еквівалентний оператору інтегральної оптимальності.

2. Вперше розроблено модель оперативного планування роботи радіотехнічних засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів, відмінною особливістю якої є можливість здійснювати вибір найбільш пріоритетного варіанта функціонування на основі визначених критеріїв імовірності виконання цільового завдання, повноти отримання тематичних даних, ресурсних витрат, що надає можливість підвищити ефективність за рахунок можливості використання багатокритеріальної оптимізації оперативного плану функціонування космічного апарату.

3. Вперше запропоновано метод ідентифікації конфліктних ситуацій, що виникають при недосягненні поставлених цілей спостереження та розпізнавання космічних апаратів, відмінною особливістю якого є використання принципу адаптивності планування, який дозволяє запобігати, у першу чергу, конфліктним ситуаціям, які унеможливають роботу засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання із космічними апаратами, а в другу чергу, конфліктним ситуаціям, які обмежують роботу радіотехнічних засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

4. Удосконалено метод вимірювання параметрів радіотехнічних систем космічного апарату, який на відміну від відомих, сформований на основі виконання умов регулярності завдання контролю за технічним станом, а саме: адекватності, спостерігаємості і конзистентності, що дозволяє вирішувати нелінійні завдання

оцінювання параметрів радіотехнічних систем космічного апарату за допомогою отримання аналітичних виразів.

5. Удосконалено метод формування оптимальних значень критеріальних функцій, який відрізняється від відомих можливістю визначення єдиного комплексу цільових характеристик і можливістю коректування отриманих рішень за допомогою параметричних обмежень, що дозволяє точніше характеризувати відповідний стан перспективної системи спостереження й розпізнавання космічних апаратів.

6. Дістали подальшого розвитку методологічні основи теорії і практики адаптації комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів, що включають у себе замкнуту сукупність концептуальних положень, принципів, підходів, моделей та теоретичних методів, а також методичних, програмних та алгоритмічних прийомів інтенсифікації дослідницького процесу, реалізованих у вигляді способів і методик, що дозволяють підвищити ефективність процесів спостереження та розпізнавання в умовах однопунктної технології управління КА за цільовими характеристиками.

7. Дістала подальшого розвитку методологія інформаційного забезпечення процесів спостереження та розпізнавання космічних апаратів у напрямку розроблення математичних та модельних аспектів вимірювання параметрів адаптивної комплексної системи спостереження й розпізнавання космічних апаратів та автоматизації контролю і прогнозування її технічного стану.

Практичне значення отриманих результатів полягає в такому:

1. Розроблено спосіб вимірювання фізичних полів космічних об'єктів, що дозволяє достовірніше здійснювати оцінювання небезпечності цих об'єктів для спостереження та розпізнавання космічних апаратів і засобів їх виведення, каталогізувати та супроводжувати їх радіотехнічними засобами навігації (Пат. № 18972).

2. Розроблено координатно-часовий спосіб спостереження та розпізнавання космічних апаратів, який дозволяє забезпечити виконання операцій спостереження та розпізнавання як у заданий час, так і у заданій точці простору з більшою, ніж у відомих способах точністю при спрощенні технічної реалізації (Пат. № 19490).

3. Розроблено спосіб розпізнавання пунктів спостереження космічних апаратів, який дозволяє підвищити надійність спостереження та розпізнавання космічних апаратів за рахунок перевірки відповідності координат наземної станції спостереження із інформаційними полями, які записані на борту космічного апарату (Пат. № 25020, Пат. № 38812).

4. Розроблено спосіб автоматизованого оцінювання використання інформаційних полів стану космічного апарату, який дозволяє підвищити ступень автономності космічного апарату та якість виявлення нештатних ситуацій під час спостереження та розпізнавання космічного апарату (Пат. № 33404).

5. Розроблено спосіб навігаційного обслуговування космічних апаратів за допомогою радіоінтерферометричних вимірювань з наддовгою базою та із застосуванням додаткових морських приймальних пунктів, які дозволяють значно поширити можливості існуючої системи спостереження та розпізнавання космічних

апаратів у напрямі визначення точних координат, у першу чергу, космічних об'єктів далекого космосу (Пат. № 72415).

6. Розроблено та удосконалено методику спостереження геостационарних космічних об'єктів, яка дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності спостереження й розпізнавання космічних апаратів за рахунок визначення місцезнаходження некаталогізованих космічних об'єктів, а також методику підвищення ефективності функціонування комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів за допомогою використання морського пункту спостереження, яка дозволяє здійснювати оперативне спостереження та розпізнавання космічних апаратів поза зоною видимості існуючого наземного пункту спостереження, забезпечувати оперативність вирішення телеметричних завдань спостереження під час виведення космічного апарату на задану орбіту, збільшити тривалість інформаційного контакту з космічними апаратами ближнього космосу практично у три рази залежно від широти місцезнаходження морського пункту спостереження.

7. Наведені нові науково обґрунтовані рекомендації щодо перспективної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів далекого космосу дозволяють розглянути можливість використання даної системи у виконанні спільних міжнародних програм досліджень далекого космосу, а також значно підвищити ефективність комплексної системи спостереження й розпізнавання космічних апаратів як за оперативними, так і за цільовими характеристиками за рахунок модернізації існуючих наземних радіотехнічних засобів їх навігаційного обслуговування та використання їх за цільовим призначенням.

8. Експериментально були здійснені перевірка працездатності адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів і за допомогою існуючих програмно-апаратних комплексів даної системи, які перебувають в експлуатації, підтверджено підвищення ефективності процесів спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити такі висновки:

- значення показника повноти інформації збільшилось на 9 %;
- час вирішення тематичних завдань зменшився у 2,5 рази;
- імовірність помилок 1-го роду зменшилась у 7 разів, а імовірність помилок 2-го роду зменшилась у 5 разів;
- забезпечується раціональне використання ресурсу бортової апаратури КА.

9. Розроблені технічні та експлуатаційні вимоги, методи випробування та вимоги до результатів випробувань реєстраторів даних рейсу морського пункту спостереження космічних апаратів (ДСТУ ІЕС 61996-2:2010).

10. Розроблені технічні та експлуатаційні вимоги, методи випробування та вимоги до результатів випробувань системи відображення інформації щодо наявності радіозв'язку із космічними апаратами морського пункту спостереження (ДСТУ ІЕС 61174:2010).

Основні результати досліджень реалізовані:

1. У Державному космічному агентстві України при виконанні НДР і ДКР щодо створення наземного комплексу управління космічними апаратами космічної

системи «Січ» (Довідка про впровадження дисертаційних досліджень від 11 березня 2013 року №1457/13-7.1/13);

2. У *Центрі контролю космічного простору* НЦУВ КЗ під час розроблення технічних вимог, програм і методик випробувань наземної станції СКТРЛ-М і виконання відокремлених технологічних операцій контролю за космічним простором та ведення каталогу космічних об'єктів (Акт про реалізацію результатів наукових досліджень від 26 березня 2012 року №37);

3. У *Центрі управління польотами космічними апаратами* НЦУВ КЗ під час розроблення технічних завдань, програм і методик випробувань та дослідної експлуатації програмно-апаратних комплексів аналізу роботи бортових систем «Січ-2» та програмно-апаратних комплексів командно-програмного забезпечення польоту космічних апаратів «Січ-2» та «Egyptsat-1» (Акт про реалізацію результатів наукових досліджень від 14 листопада 2012 року №115);

4. У навчальному процесі *Національного авіаційного університету* під час створенні курсу лекцій з дисциплін «Основи теорії управління польотом», «Функціональна побудова бортових систем управління» та підготовки аспірантів (Акт впровадження результатів дисертаційних досліджень від 08 квітня 2013 року).

5. У *Державному підприємстві «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління»* під час виконання НДР «Обґрунтування-КС» (Акт про впровадження винаходу № 18972 від 16 червня 2008 року №48/с, Акт про впровадження винаходу № 25020 від 16 червня 2008 року №49/с).

6. У навчальному процесі *Київської державної академії водного транспорту імені гетьмана П. Конашевича-Сагайдачного* під час викладання дисципліни «Сучасні методи експериментальних досліджень та обробки даних у навігації та управлінні судном», а також під час підготовки аспірантів (Акт впровадження результатів дисертаційних досліджень від 14 лютого 2013 року №11).

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційних досліджень отримані автором особисто. У спільних роботах автору належать ідеї та розроблення, які наведені у списку опублікованих праць за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень, які отримані у ході виконання дисертаційної роботи, доповідалися на міжнародних, університетських і академічних науково-технічних і науково-методичних конференціях і семінарах, а також на засіданнях кафедри систем управління літальними апаратами Національного авіаційного університету: Пятої Української конференції по космическим исследованиям. – Евпатория. – 2005; НПК „Застосування космічних систем в інтересах національної безпеки та оборони”. – Київ.: НАОУ, 2005; XV науково-технічній конференції ЖВІРЕ 20–21 травня, 2006; 7-й Українській конференції з космічних досліджень 3–8 вересня 2007 р. – Київ: ІКД НАНУ-НКАУ, 2007; Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту. ISDMCI'2008.– Євпаторія. – 2008; Першій міжнародній науково-технічній конференції 5–6 липня 2010 року – Київ: ДП «ЦНДІ НіУ», 2010; Міжнародному науково-практичному семінарі «Актуальні проблеми підготовки командних кадрів торговельного флоту КДАВТ ім. П.Конашевича-Сагайдачного», 2010; Восьмій науковій конференції ХУПС імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору»–Харків, 2012; V Всесвітньому

конгресі "Авіація у ХХІ столітті" – "Безпека в авіації та космічні технології" – К.: НАУ, 2012.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи відображені у 1 монографії та 56 друкованих наукових працях, серед них: 26 статей, опублікованих особисто і у співавторстві у збірниках наукових праць, що входять до переліку видань, дозволених МОН України для публікацій результатів досліджень з технічних наук (у тому числі 7 опубліковані одноосібно, 7 опубліковані у міжнародних наукометричних базах РІНЦ), 12 матеріалів і тез науково-технічних конференцій та семінарів, 14 патентів на корисну модель.

Також здобувач брав участь у написанні 2 навчальних посібників (один з грифом МОНМС України) та у розробленні 2 Державних стандартів України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Обсяг дисертації становить 375 сторінок тексту, 31 рисунка на 27 сторінках, 23 таблиць на 22 сторінках, список використаних джерел – 216 найменувань на 23 сторінках, додатків на 80 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** на основі аналізу особливостей предметної сфери дослідження і порівняльного огляду відомих публікацій обґрунтовано актуальність теми дисертації, вказано зв'язок роботи з науковими програмами та планами організацій, визначено мету та завдання досліджень. Викладено наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів, особистий внесок здобувача при отриманні цих результатів, а також наведено інформацію щодо структури та обсягу дисертації, публікацій та апробації роботи.

У **першому розділі** проведено аналіз відомих підходів щодо підвищення ефективності процесів спостереження космічних апаратів.

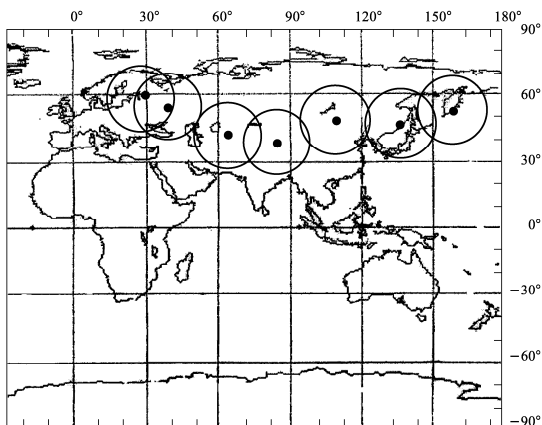


Рис.1. Багатопунктна технологія спостереження та розпізнавання

Для забезпечення безперервного спостереження та розпізнавання космічних апаратів (КА) використовувалися низка наземних станцій спостереження, розташованих по довготі (рис.1). Так, наприклад, в США (середина вісімдесятих років) використовувалися біля двадцяти станцій. Однак загальна тривалість інформаційного обміну не

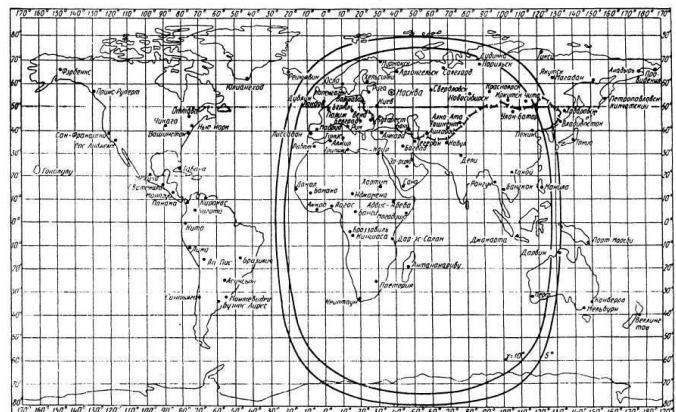


Рис.2. Технологія спостереження з використанням супутника-ретранслятора

перевищувала 20% від загальної траєкторії руху космічного апарата, що значно завадило виконанню спостереження космічних апаратів у реальному часі.

Збільшення тривалості зон радіозв'язку (рис.2) дає такі переваги при спостереженні КА: істотно знижується напруженість контролю за станом і спостереженнями космічними комплексами в сеансах радіозв'язку, що у цілому підвищує надійність процесів спостереження; забезпечується проведення тривалих сеансів спостереження, які забезпечують більш економне витрачання енергетичних ресурсів космічного комплексу. Характерною рисою існуючого стану розвитку комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів є використання уніфікованих інтерфейсів обміну даних, що робить непотрібним створення спеціалізованих систем передавання даних. Також міжнародне співробітництво у космосі, спільне виконання глобальних міжнародних проектів (наприклад, Exploration, рис. 3) потребує виконання підвищених вимог до

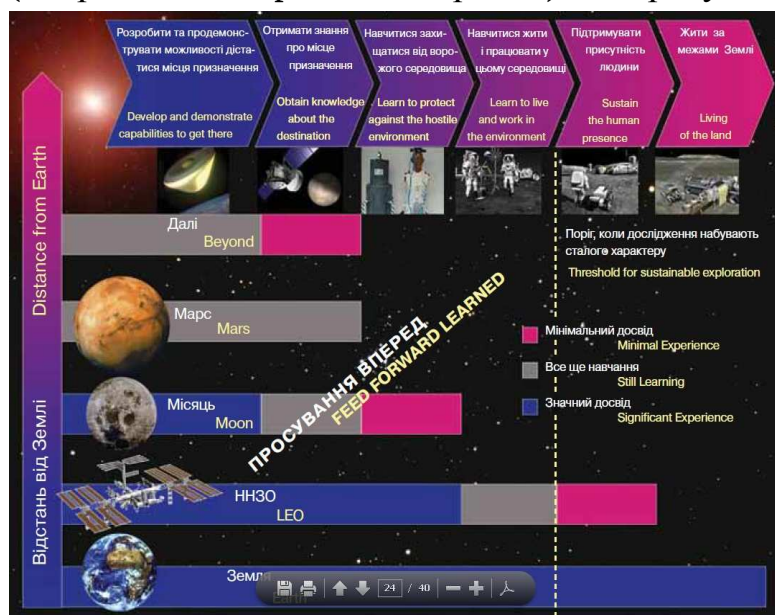


Рис.3. "Дорожня карта" дослідження космосу

проведення інтеграції космічних засобів, включаючи комплексні системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

Необхідними умовами для цього, крім уніфікації, є міжнародна стандартизація програмно-апаратних комплексів автоматизації та спостереження космічними апаратами. Ці роботи проводяться у межах Консультативного комітету із систем передавання космічних даних (CCSDS) в доповнення до рекомендацій Міжнародної організації зі стандартизації (ISO), Міжнародного союзу

електрозв'язку (ITU). В останні роки розроблені стандарти Super MOCA-700 групи стандартів CCSDS. У даних стандартах визначені вимоги щодо планування та використання засобів спостереження в центрах управління польотами для усіх ступенів автономності космічних апаратів.

У той же час заходами Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2013–2017 роки (п.1.1.2 "Січ"; п.1.2.1 "Либідь"; п.2.1 "Іоносат"; п.2.4 Програми "Освіта") передбачається створення нової комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів під час створення кожного нового космічного апарату. Тому спостерігається *протиріччя на практиці*, яке, з одного боку, характеризується необхідністю оперативного спостереження космічних апаратів різного цільового призначення та неможливість спостереження без створення нової системи спостереження та розпізнавання – з другого боку.

Донедавна вважалося класичним прийомом використовувати у дослідженнях так званий «редукційний» підхід як єдність предмету та теоретичної концепції (одна модель, один критерій, один метод), (Attow K.J., Фельдбаум А.А., Банди Б.

Соболь И.М., Кини Р.Л., Райф Х., Машунин Ю.К., Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г.). У той же час особливістю сучасної науки є системні дослідження комплексних проблем, вирішенням яких присвячені роботи Лебедева А.А., Подиновського В.В., Гаврилова В.М., Бабишина В.Д., Д. Табака, Куо В.С., Е. Hansen, Лисенко Л.Н., Соловьева В.А., Лазарева Ю.Н., Гермейера Ю.Б., Зака Ю.А., Иванова Н.М., Михалевича В.С., Волковича В.П., Воронина А.А. Ознакою розвиненої теорії стає її полімодельність та взаємопов'язана з нею багатокритеріальність. Полімодельна теорія явища повинна охоплювати і те, що спостерігається, і те, що не спостерігалось.

Тому виникає *протиріччя в теорії* щодо неможливості існуючих наукових методів адаптації систем спостереження та розпізнавання забезпечити потрібний рівень якості спостереження космічних апаратів.

Причиною виникнення цих протиріч є відсутність методології адаптації комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів, здатної забезпечити необхідний рівень якості спостереження та розпізнавання космічних апаратів ближнього та далекого космосу в сучасних умовах.

Під методологією розуміється замкнута сукупність принципів, підходів, теоретичних методів, а також методичних, програмних та алгоритмічних прийомів інтенсифікації дослідницького процесу, що реалізовані у вигляді способів та методик, які забезпечують виконання створення адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів (рис.4).

Математична постановка задачі полягає у такому. Маємо значення часу технологічного циклу спостереження $T_{\text{тц}}$ та величини, які характеризують процес спостереження: $\text{ЦЗ} = \{a_i | i = \overline{1, I}\}$ – множина цільових завдань; $\text{З} = \{e_\epsilon | \epsilon = \overline{1, E}\}$ – множина засобів адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів; $\text{КА} = \{b_j | j = \overline{1, J}\}$ – множина космічних апаратів єдиного цільового призначення; $\text{Р} = \{g_\lambda | \lambda = \overline{1, L}\}$ – множина режимів роботи засобів адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів; $\text{ТОС} = \{l_\phi | \phi = \overline{1, \Phi}\}$ – множина службових типових операцій спостереження; $\text{ЗРВ}_{ij\phi} = \{s_{ij\epsilon\lambda\phi\nu} | \nu = \overline{1, N}\}$ – множина зон радіозв'язку для виконання типової операції спостереження, де j – порядковий номер космічного апарату єдиного цільового призначення; λ – порядковий номер режиму роботи засобів адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів; ϵ – порядковий номер засобу адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів; ϕ – порядковий номер типової операції спостереження.

Математична модель задачі виглядає таким чином

$$\max_{J_{\text{КССР}}} \min_{\text{З}} J_{\text{КССР}} = f[\text{ЦЗ}; \text{З}; \text{КА}; \text{Р}; \text{ТОС}; \text{ЗРВ}]; \quad (1)$$

$$a_i \geq a_{i_{\text{зад}}}; e_\epsilon \geq e_{\epsilon_{\text{зад}}}; b_{j_{\min}} \leq b_j \leq b_{j_{\text{зад}}}; g_\lambda \leq g_{\lambda_{\text{зад}}}; l_\phi \leq l_{\phi_{\text{зад}}}. \quad (2)$$

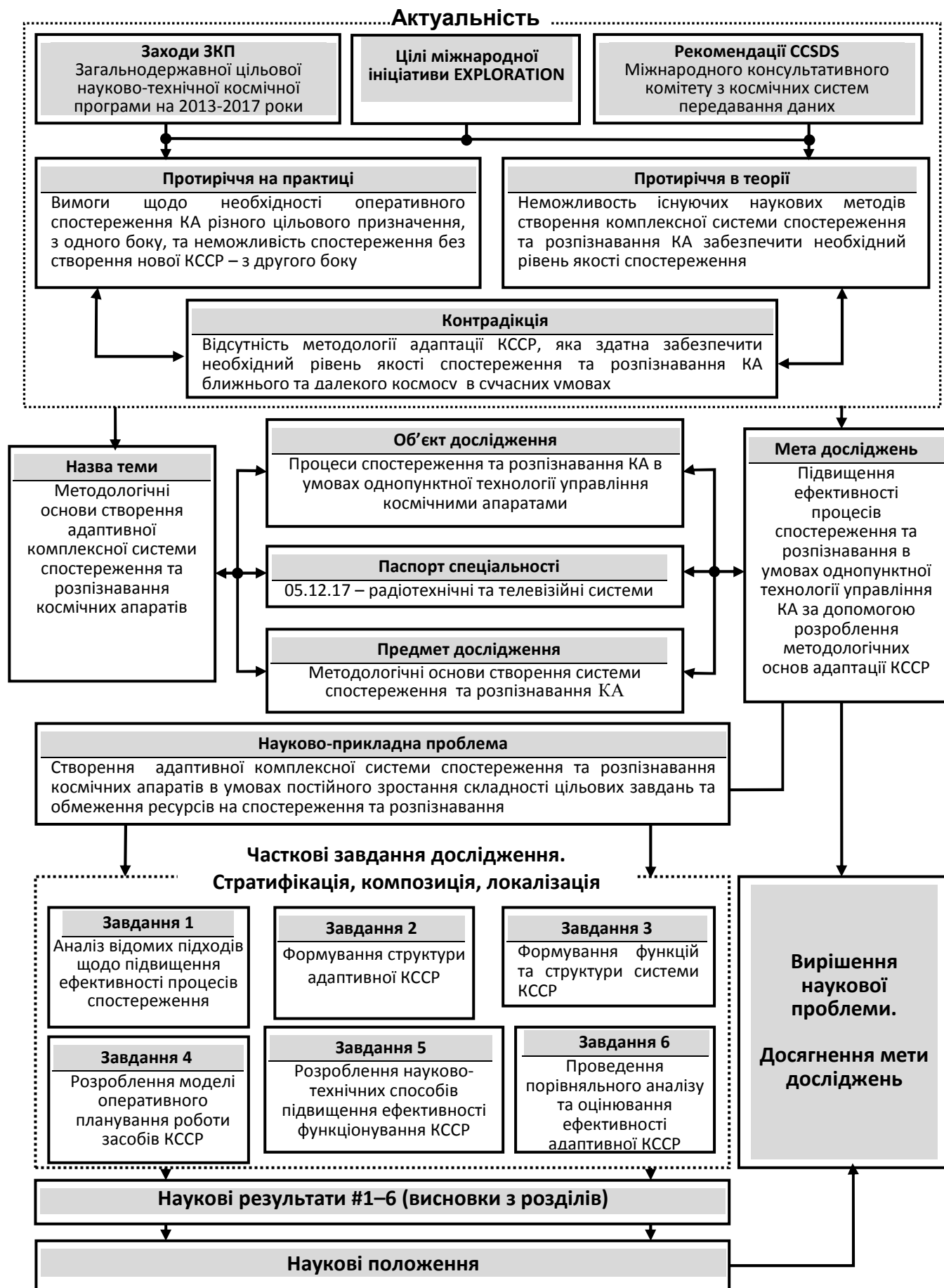


Рис.4. Структурно-логічна схема досліджень щодо адаптивної КССР

Таким чином, після вирішення задачі оптимізації буде знайдено рішення щодо спостереження та розпізнавання космічних апаратів, яке буде задовольняти критерію оптимізації (1) та відповідним обмеженням (2).

У **другому** розділі сформована структура адаптивної комплексної системи ефективного спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

Знаходження єдиного рішення багатокритеріальної задачі, що має множину рішень як множину Парето, можливо шляхом зведення задачі до єдинокритеріальної або до заздалегідь визначеної послідовності єдинокритеріальних задач.

До загальних недоліків, які притаманні методам розв'язання багатокритеріальної задачі, слід віднести наявність евристичної складової у процесі (наявність суб'єктивної похибки при виборі принципу оптимальності адекватного зовнішнім умовам) та відсутність безперервного самокоректування.

Тому існуючий формалізований апарат рішення багатокритеріальних задач потребує подальшого удосконалення та розвитку.

У цій роботі використовується комбінований підхід до рішення багатокритеріальної задачі, який базується на перевагах вищенаведених способів вирішення багатокритеріальної задачі.

Припустимо, що задана сукупність часткових критеріїв якості динамічної системи спостереження об'єктом

$$J = \{J_i\}_{i=1}^m. \quad (3)$$

Вектор часткових критеріїв обмежений допустимою областю $J \in D(J)$.

Як *характеристику напруженості* режиму будемо розглядати близькість відносних втрат до свого критичного значення (одиниці) $1 - \alpha_{0k}(\zeta) \in [0; 1]$, $k \in [1, n]$.

Тоді пропонується адаптивна схема компромісів, якій відповідає наступний оператор оптимізації

$$\text{opt}\Pi_0(\zeta) \equiv \min_{\zeta \in \mathcal{J}_\zeta} \sum_{k=1}^n [1 - \alpha_{0k}(\zeta)]^{-1}. \quad (4)$$

З виразу (4) зрозуміло, якщо будь-яка відносна втрата $\alpha_{0z}(\zeta)$, $z \in [1, n]$ досягає свого критичного значення, відповідний член $[1 - \alpha_{0k}(\zeta)]^{-1}$ компенсує (мінімізує) цю найгіршу втрату (що еквівалентне дії оператора Чебишева). Якщо відносні втрати далекі від одиниці, оператор оптимізації еквівалентний інтегральному оператору. Таким чином, розроблена модель має властивості безперервного самокоректування залежно від зміни режиму, що дозволяє у напружених режимах функціонування отримувати ефект, який еквівалентний ефекту мінімаксного оператора, у спокійних ситуаціях отримувати ефект, еквівалентний оператору інтегральної оптимальності

Припустимо, що отримання сукупності критеріальних функцій f_i , кожна із котрих характеризує залежність i -го показника ефективності КССР від тактико-технічних характеристик y_q , що досліджуються, забезпечується застосуванням методів статистичного аналізу. Вищенаведені критеріальні функції апроксимуються системою поліномів другого ступеня із достатнім ступенем точності

$$f_{ih} = \sum_k \sum_l \mathcal{L}_{kl}^{ih} y_l y_k, \quad k = \overline{0, m}; \quad l = \overline{k, m},$$

де $\mathcal{L}_{kl}^{ih}$ – коефіцієнти поліному, який апроксимує i -ту критеріальну функцію у h -області простору $\mathbf{H}$ змін тактико-технічних характеристик КССР.

Якщо розглядається найпростіший двовірний спосіб, наземний автоматизований комплекс спостереження буде описуватися двома тактико-технічними характеристиками y_1 і y_2 . Порівняння можливих варіантів здійснюється за двома критеріями f_1 і f_2 . Тоді

$$\begin{aligned} f_1 &= b_{00}^1 + 2b_{01}^1 y_1 + 2b_{02}^1 y_2 + b_{11}^1 y_1^2 + 2b_{12}^1 y_1 y_2 + 2b_{22}^1 y_2^2, \\ f_2 &= b_{00}^2 + 2b_{01}^2 y_1 + 2b_{02}^2 y_2 + b_{11}^2 y_1^2 + 2b_{12}^2 y_1 y_2 + 2b_{22}^2 y_2^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Припустимо, що пошук оптимальних тактико-технічних характеристик наземного автоматизованого комплексу спостереження буде здійснюватися поблизу точок множини рішень, які мають високий рівень цільової ефективності. Критеріальні функції шукаються в класі квадратичних поліномів

$$f_i(y) = \langle B_{2i} y, y \rangle + \langle B_{1i}, y \rangle + B_{0i}. \quad (6)$$

Коефіцієнти поліномів (6) надаються у вигляді матриці $B_2 = [\mathcal{L}_{kl}]$ та $B_1 = [\mathcal{L}_{p0}]$ – вектор-стовпець, де $k, l = \overline{1, m}; p = \overline{0, m}$.

Якщо $y_0 \equiv 1$

$$f(y) = B_0 + 2B_1 y + y B_2 y^T. \quad (7)$$

У (7) $B_0 \equiv \mathcal{L}_{00}$ – вільний член апроксимуючого поліному; $y^T = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_m]$ – вектор тактико-технічних характеристик КССР; $B_1 = [\mathcal{L}_1 \ \mathcal{L}_2 \ \dots \ \mathcal{L}_m]$ – вектор апроксимуючих коефіцієнтів при перших степенях характеристик; $B_2 = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{11} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{21} & \dots & b_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{1m} & b_{2m} & \dots & b_{mm} \end{bmatrix}$ – вектор апроксимуючих коефіцієнтів при других степенях характеристик.

Якщо відомо (7) та коефіцієнти апроксимуючого поліному, а також область $y \in Y$ стає можливим визначення єдиного комплексу тактико-технічних характеристик y^* , який характеризує відповідний стан перспективного наземного автоматизованого комплексу спостереження.

Якщо отримане рішення y^* є неприпустимим, воно коректується з урахуванням параметричних обмежень

$$\min y_j \leq y_j \leq \max y_j, \quad y_j \in [1, q]. \quad (8)$$

Будь-якому значенню Z_1 , яке знаходиться у діапазоні $(\text{opt } Z_1^1, \text{opt } Z_1^2)$ відповідає значення Z_2 , яке заходиться у діапазоні $(\text{opt } Z_2^1, \text{opt } Z_2^2)$ та забезпечує точки з координатами (Z_1, Z_2) властивість належати до області рішень, ефективних за Парето.

$$\forall \{Z_1 | Z_1 \in [\text{opt } Z_1^1, \text{opt } Z_1^2]\} \exists \{Z_2 | Z_2 \in [\text{opt } Z_2^1, \text{opt } Z_2^2]\} \Rightarrow \{Z_1, Z_2\} \in \Pi, \quad (9)$$

де $\Pi \subset \mathbf{H}$ – область паретооптимальних рішень.

У багатомірному випадку, якщо розмірність простору q , а кількість критеріїв дорівнює двом, вираз (8) набуває такого вигляду

$$\forall \{Z_1 | Z_1 \in [\text{opt } Z_1^1, \text{opt } Z_1^2]\} \exists \{Z_j | Z_j \in [\text{opt } Z_j^1, \text{opt } Z_j^2]\} \Rightarrow \\ \Rightarrow \{Z_j\} \in \Pi, \forall j \in [1, q].$$

У багатомірному випадку координати точок лінії Парето, визначають за формулою

$$Z_j = \frac{Z_{0j}}{I - \frac{\lambda_j}{\lambda_1} \left(I - \frac{Z_{01}}{Z_1} \right)},$$

де Z_{0j} – координати центру множини ліній f_1 у новій системі координат;

λ_j – власні значення квадратичної форми f_2 .

Якщо відомі координати центру множини Z_{0j} , власні значення квадратичної форми f_2 та змінюючи значення координати Z_1 у діапазоні $[0, Z_{0j}]$ можливо визначити усі координати точок лінії Парето. Також слід відзначити, що координати центру гіпербол можливо визначати за допомогою виразу

$$Z_{j\text{ц}} = \frac{Z_{0j}\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_j}.$$

Таким чином, за допомогою розробленого методу формування оптимальних значень критеріальних функцій буде розв'язана задача знаходження паретооптимальних рішень вибору тактико-технічних характеристик наземного автоматизованого комплексу спостереження та розпізнавання.

У **третьому** розділі сформовані функції та структура контролю комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

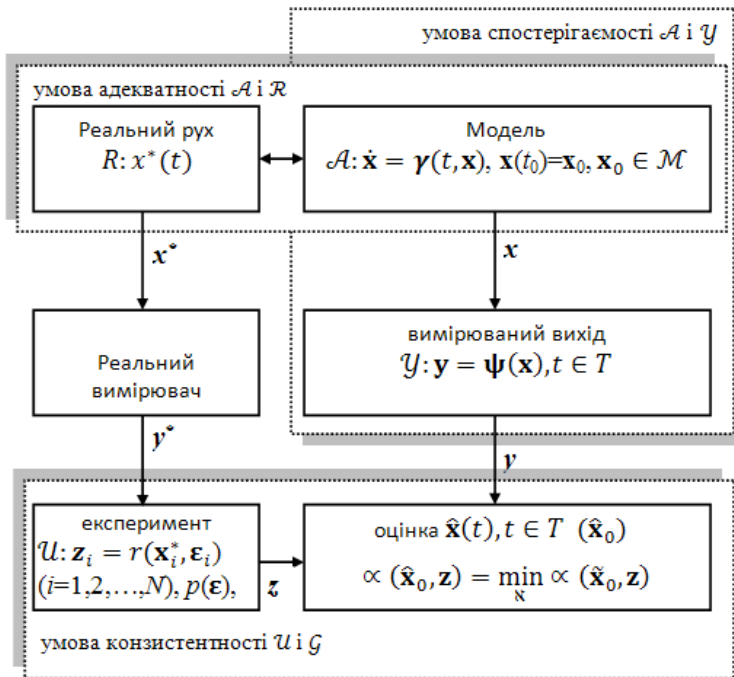


Рис.5. Структурна схема моделі контролю спостереження

У системі розрізняють п'ять елементів: $\mathcal{A}$, $\mathcal{Y}$, $\mathcal{U}$, $\mathcal{G}$, $\mathcal{R}$. Для розгляду відповідності між цими елементами необхідно розглянути множини, які складають ці елементи:

- $\mathcal{M}$ – множина початкових станів, елементами якого є k -вимірні x_0 ;
- X^k – множина траєкторій стану, елементами якого є k -вимірні вектори $x(t)$, коли $t \in T$;
- Y^l – множина сигналів, що спостерігаються елементами якого є l -вимірні вектори-функції $y(t)$, якщо $t \in T$;
- Z – множина вибірок, елементами якого є n -вимірні вектори Z ;
- $\mathcal{X}$ – множина рішень, елементами якого є k -вимірні вектори $\tilde{x}_0$ (рис.5).

Вибір математичної моделі $\mathcal{A}$ залежить від вибору системи координат, у котрій розглядається рух космічного об'єкта. Вибір рівнянь вимірювань $\mathcal{Y}$ залежить від складу вимірювальних параметрів. Вибір критерію якості функціонування $\mathcal{G}$ визначається вибором функції втрат.

Рівняння вимірюваного виходу матиме такий вигляд

$$\mathcal{Y}: y_k^*(t) = y_k^*(\mathbf{x}_0^*, t), k = 1, \dots, l. \quad (10)$$

Зазвичай, $l \leq k$, де k – розмірність вектору $\mathbf{x}_0$. Припустимо, що в дискретні моменти часу $t_i \in T$ здійснюються вимірювання, які відповідні з умовами експерименту

$$\mathcal{U}: \mathbf{z}_{ki} = y_k^*(\mathbf{x}_0^*, t_i) + \varepsilon_{ki}, \varepsilon_{ki} \in N(0, \sigma_k^2).$$

Враховуючи нелінійність виразу (10), у процесі вирішення задачі оцінювання $\mathbf{x}_0^*$ за критерієм $\propto (\tilde{\mathbf{x}}_0, \mathbf{z})$ маємо систему нелінійних рівнянь. Існує достатня кількість нелінійних задач, яка не може бути вирішена за допомогою ітеративних методів. Тому дані нелінійні задачі потребують розроблення нових специфічних методів. Для розв'язування класу нелінійних задач (10) варто синтезувати приблизний аналітичний метод вирішення. Даний метод базується на умовах регулярності.

Припустимо, що є простіша формальна математична модель $\mathcal{A}$, за допомогою котрої рівняння (10) мають такий вигляд

$$\mathcal{A}-\mathcal{R}: y_k(t) = \sum_{j=1}^{n_k} \psi_{kj}(t) a_{kj}, k=1, \dots, m, \quad (11)$$

де a_{kj} – невідомі постійні коефіцієнти; $\psi_{kj}(t)$ – відомі функції часу.

Для кожного фіксованого k система функцій $\{\psi_{kj}(t)\}$ створює на відрізку часу T лінійно-незалежну систему. Для апроксимації вимірюваних параметрів може бути використана одна система функцій. Ця система функцій $\{\psi_{kj}(t)\}$ визначається згідно з характером вимірюваних параметрів.

Якщо вимірюваний параметр є монотонною функцією часу, для апроксимації варто використовувати степеневі поліноми

$$\psi_l(t) = \frac{t^l}{T^l} \quad (l = 0, 1, \dots),$$

які також є монотонними функціями.

Якщо вимірюваний параметр має характер, що коливається, для апроксимації варто використовувати тригонометричні поліноми

$$\psi_l(t) = \sin \frac{2\pi}{T} l t \quad (l = 0, 1, \dots).$$

Якщо вимірюваний параметр $y_k(t)$ має монотонний характер та характер, що коливається, для апроксимації варто використовувати поліноми Лежандра

$$\psi_l(t) = \frac{1}{2^l l!} \frac{d^l \left[\left(\frac{t^2}{T^2} - 1 \right)^l \right]}{dt^l} \quad (l = 0, 1, \dots),$$

котрі мають обидві властивості.

Вимагаємо, щоб модель контролю спостереження (9) відповідала вимогам адекватності в просторі вибірок. Дана вимога виконується шляхом вибору ступеню апроксимуючих поліномів.

Модель (10) є лінійною по відношенню до невідомих коефіцієнтів a_{kj} . Для оцінювання невідомих параметрів варто використовувати метод максимальної правдоподібності. У цьому випадку оцінки коефіцієнтів визначаються в остаточному вигляді. У результаті їх підстановки в вираз (10) отримують оцінки вимірюваних параметрів за виразом

$$\hat{y}_k(t) = \sum_{j=1}^{n_k} \psi_{kj}(t) \hat{a}_{kj}, \quad k=1, \dots, m. \quad (12)$$

Існуючий алгоритм багаторівневого контролю за станом космічного комплексу має фізичну структуру, достатньо близько перебуває до логіки неавтоматизованого аналізу телеметричної інформації та має наступні недоліки: необхідність складання алгоритмів для кожної системи космічного комплексу окремо, у зв'язку з тим, що кількість параметрів, які використовуються для аналізу кожної системи $X_i(Z_l)$, та кількість кроків аналізу для ідентифікації Y_j стану відрізняються для кожної системи космічного комплексу; необхідність зміни алгоритму при змінах вихідних даних щодо використання $X_i(Z_l)$ параметрів у n операціях порівняння з $|X_i|$ та $|Z_l|$.

Більш перспективним є алгоритм аналізу функціонування систем космічного комплексу, побудований на матрицях стану. У цьому алгоритмі використовується пропозиція щодо можливості визначення у кожен момент часу стану системи Y_j знаходженням багатомірного вектору $\bar{X}$ у просторі параметрів $\{X_i\}$ та проміжних обчислень $\{Z_l\}$ $Y \rightarrow \bar{X} = \{X_i; Z_l\}$, $i = \overline{1, k}$; $l = \overline{1, m}$.

Зона змін кожного X_i і Z_l розбивається на інтервали таким чином, що безперервному значенню кожного $X_i(Z_l)$ відповідає множина дискретних ознак $\bar{s}(\bar{d})$, які визначає знаходження параметрів $X_i(Z_l)$ в одному з інтервалів,

$$X_i(Z_l) \rightarrow \bar{s}(\bar{d}) = \{s_{in}\}_{n=\overline{1,b}} (\{d_{in}\}_{n=\overline{1,b}}).$$

Значення $\{s_{in}\}_{n=\overline{1,b}} (\{d_{in}\}_{n=\overline{1,b}})$ кодуються двійковим кодом, розрядність якого визначається кількістю інтервалів, що є у ресурсі. Тоді кожний Y_j стан системи може бути описаний вектором-рядком, який містить у собі закодовану комбінацію $\{s_{in}\}$ і $\{d_{in}\}$. Сукупність векторів-рядків Y_j є матрицею Q -станів системи $Y = \{Y_j\}$, $j = \overline{1, q}$. Позаштатна ситуація – це сукупність обставин, обумовлених дією обурюючих чинників, які можуть призвести до загрози невиконання цільового завдання. Забезпечення виконання цільового завдання в умовах виникнення позаштатної ситуації є одним з основних завдань комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів. Ознакою виникнення позаштатної ситуації є вихід деякого параметру стану КА за межі норми. Конкретний зміст параметра характеризує визначену множину позаштатних ситуацій $ПС_i$.

Відповідні алгоритми виявлення та ідентифікації позаштатної ситуації й алгоритм прийняття оперативних рішень щодо спостереження за польотом космічного апарату за результатами контролю показані на рис. 6. та 7. Наведені у цьому розділі дослідження дозволили розробити алгоритм виявлення та ідентифікації позаштатної ситуації, який на відміну від відомих дозволяє автоматизувати виявлення та ідентифікацію ПС як бортовим комплексом управління рухом, так і комплексною системою спостереження та розпізнавання космічних апаратів, а також створити алгоритм прийняття оперативних рішень

щодо змін спостереження КА за результатами контролю, якому притаманні властивості універсальності.

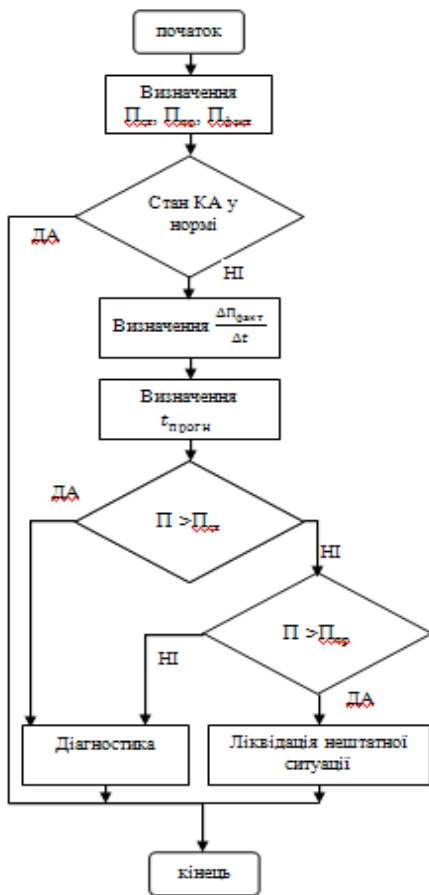


Рис.6. Алгоритм прийняття ОР

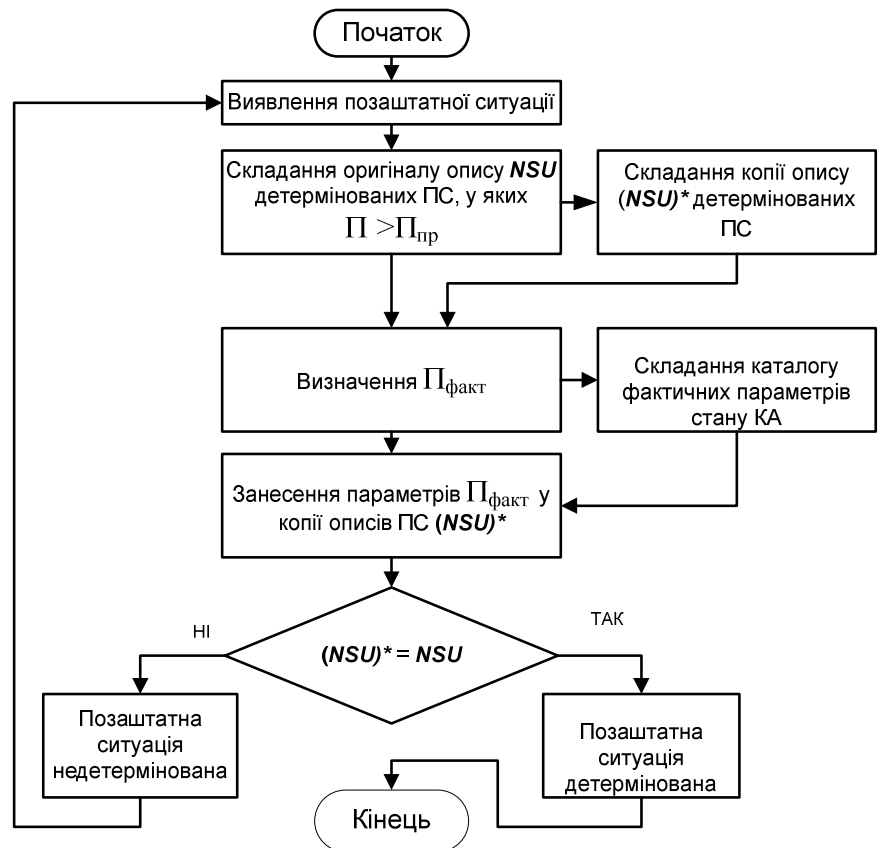


Рис. 7. Алгоритм виявлення та ідентифікації ПС

Результати функціонування моделі контролю спостереження КА показують можливість перерозподілу функцій спостереження космічним апаратом та дозволяють розглядати бортовий комплекс управління рухом як сучасний програмно-апаратний комплекс, який здатний здійснювати безперервний телеметричний контроль за станом КА.

У четвертому розділі розроблена модель оперативного планування роботи засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

Аналіз причин виникнення конфліктних ситуацій при плануванні спостереження за польотом космічного апарату дозволяє визначити такі причини: особливості технологічного циклу спостереження; обмеження існуючої однопунктної технології спостереження; обмеження можливостей засобів КССР (вплив зовнішнього середовища, вплив завад та ін.). Загальна модель поточного планування приймає такий вигляд

$$Y_{ij\phi} = \sum_{\epsilon} \sum_j k_{ij\epsilon\lambda\phi\nu} u_{ij\epsilon\lambda\phi\nu} \rightarrow \max U_{ij\phi}^d,$$

де $U_{ij\phi}^d \subset U_{ij\phi}$ – множина припустимих змінних спостереження, $\phi = \overline{1, \Phi}$,

j – порядковий номер космічного апарату єдиного цільового призначення; λ – порядковий номер режиму роботи засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів; ϵ – порядковий номер засобу комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів; ϕ – порядковий номер типової операції спостереження.

Вищенаведені об’єктивні причини обумовлюють шість конфліктних ситуацій: *конфліктна ситуація* типу *A*: невиконання режимів робіт, яке обумовлене несправністю апаратури космічного апарату – A_1 ; невиконання режимів робіт, яке обумовлене несправністю засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів – A_2 (за ремонтом або за технічним обслуговуванням); *конфліктна ситуація* типу *B*: засіб комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів не встигає налаштуватися до роботи з космічним апаратом другого цільового призначення – B_1 ; за умовою одночасного залучення до роботи з різними космічними апаратами двох засобів на одній частоті – B_2 ; *конфліктна ситуація* типу *C*: використання засобу комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів у несприятливих умовах природного середовища – C_1 ; використання засобу в умовах виникнення завад – C_2 .

На декартовому множенні $KA \times N \times PU \times Z \times R \times T$ визначається множина заявок

$$\Gamma = \{\Gamma_{in} | i = \overline{1, I}; n = \overline{1, N(i)}\},$$

де $N(i)$ – кількість заявок із номером ϵ , яка розраховується за допомогою такого виразу

$$\Gamma_{in} = \langle i, n, \epsilon, \mu, g, \lambda, t_{\text{поч}}, t_{\text{кін}} \rangle,$$

де $\Gamma_{in} - i$ -та заявка на застосування ϵ -го засобу комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів для роботи у g -му режимі з j -м космічним апаратом на інтервалі часу $(t_{\text{поч}}, t_{\text{кін}})$.

Розроблений здобувачем метод ідентифікації конфліктних ситуацій дозволяє запобігати, у першу чергу, конфліктним ситуаціям, які унеможливають роботу засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів, а в другу чергу, конфліктним ситуаціям, які обмежують роботу засобів з космічними апаратами (так звана властивість «адаптивність планування»)(рис. 8).

Формалізуємо умови конфліктних ситуацій.

Функцію ідентифікації конфліктної ситуації типу A_1 знаходимо таким чином

$$A_1: KA \times T \times Z \rightarrow V.$$

Множина часових інтервалів, коли $\hat{j}$ -космічний апарат несправний визначається наступним чином

$$T_{A_1} = \{(t_{\text{поч}}^{\hat{\mu}\hat{j}}, t_{\text{кін}}^{\hat{\mu}\hat{j}}) | \hat{\mu} = \overline{1, M}, \hat{j} = \overline{1, J}\}.$$

Тоді необхідна умова конфлікту має вигляд

$$A_1(\Gamma_{in}, t^{\hat{\mu}\hat{j}}) = 1 \Rightarrow \mu_{in} = \hat{\mu}, j_{in} = \hat{j}.$$

А достатня умова знаходиться таким чином

$$A_1(\Gamma_{in}, t^{\hat{\mu}\hat{j}}) = 1 \Leftarrow \zeta_1(\Gamma_{in}, t^{\hat{\mu}\hat{j}}) > 0,$$

де $\zeta_1(\Gamma_{in}, t^{\hat{\mu}\hat{j}})$ – функція тривалості конфліктної ситуації типу A_1 .

Аналогічно знаходяться інші конфліктні ситуації.

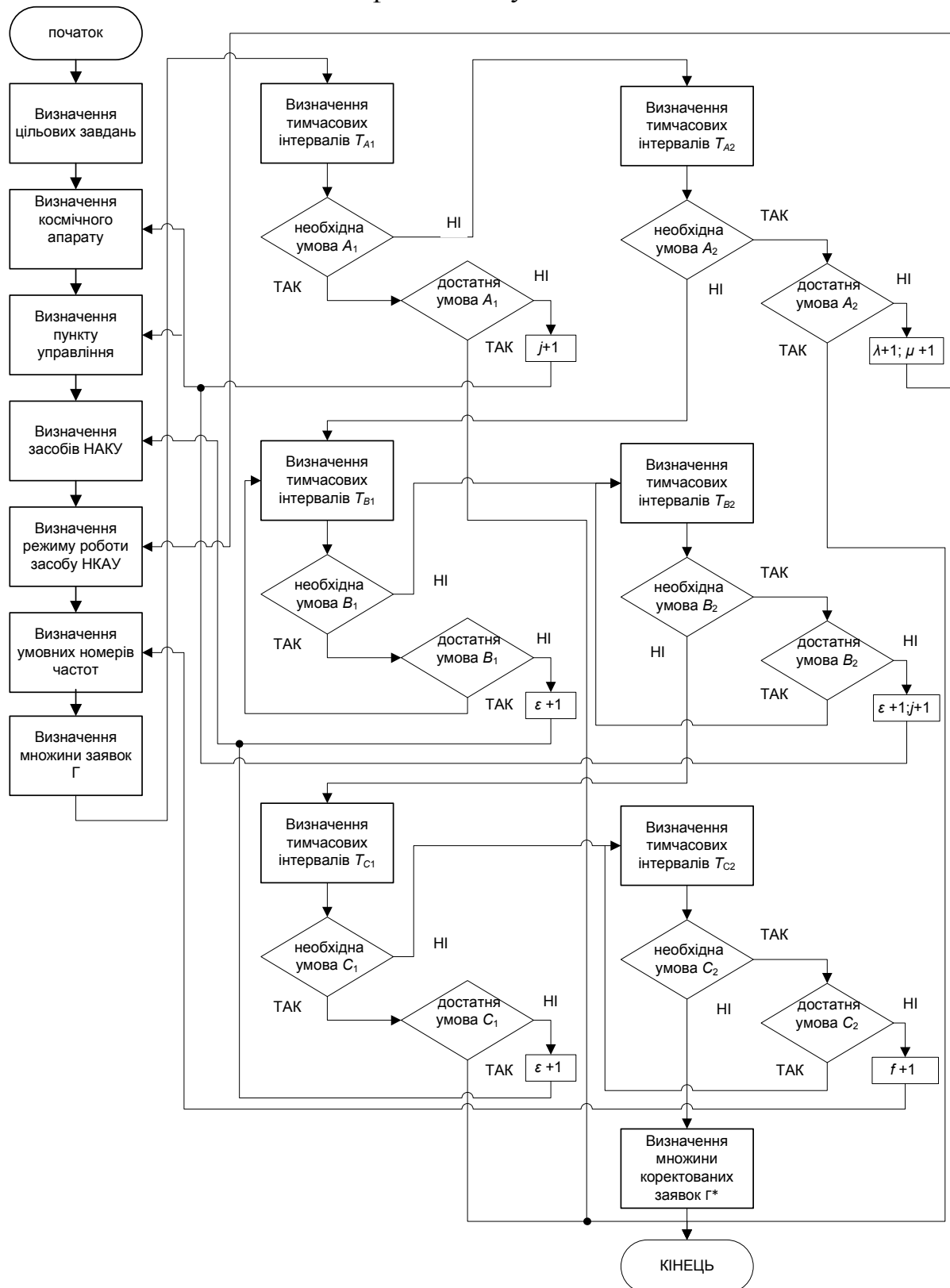


Рис. 8. Алгоритм методу ідентифікації конфліктних ситуацій

Розроблена модель оперативного планування роботи засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів дозволила визначити

структуру програмно-математичного забезпечення Центру управління польотом, як сукупності відповідних алгоритмів, системних та прикладних програм, які гарантують ефективне спостереження за польотом космічного апарату при раціональному розподілі функцій між бортовим та наземним комплексами спостереження.

Результати дослідження свідчать про можливість оптимізації структури Центру управління польотом у напрямку об'єднання операцій спостереження та планування, що дозволить скоротити персонал центру без зменшення рівня ефективності спостереження за космічними апаратами.

На базі розроблених пропозицій здобувачем показаний загальний вигляд інформаційного забезпечення спостереження за космічними апаратами та наведені загальні вимоги до інформаційного забезпечення перспективної адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів. Структурна схема інформаційного забезпечення спостереження космічних апаратів зображена на рис. 9.

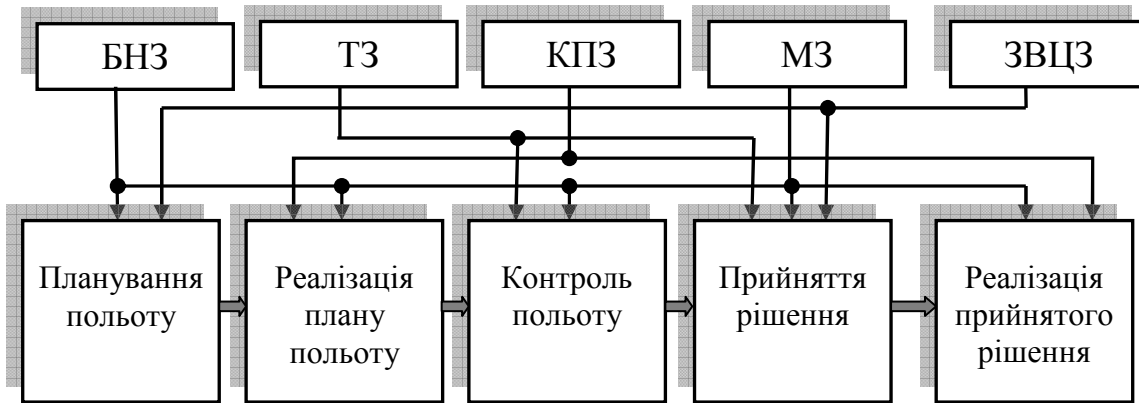


Рис. 9. Структурна схема інформаційного забезпечення спостереження:

БНЗ – балістико-навігаційне; КПЗ – командно-програмне;

ТЗ – телеметричне; МЗ – методичне забезпечення нестандартних операцій;

ЗВЦЗ – забезпечення виконання цільових завдань

У п'ятому розділі запропоновані науково-технічні способи підвищення ефективності функціонування комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

$$\sigma = 4\pi R^2 \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = 4\pi R^2 \left(\frac{E_2^2}{E_1^2} \right),$$

де P_1 – щільність потоку потужності у точці об'єкта;

P_2 – щільність потоку потужності у точці прийому;

R – відстань між РЛС і об'єктом опромінювання;

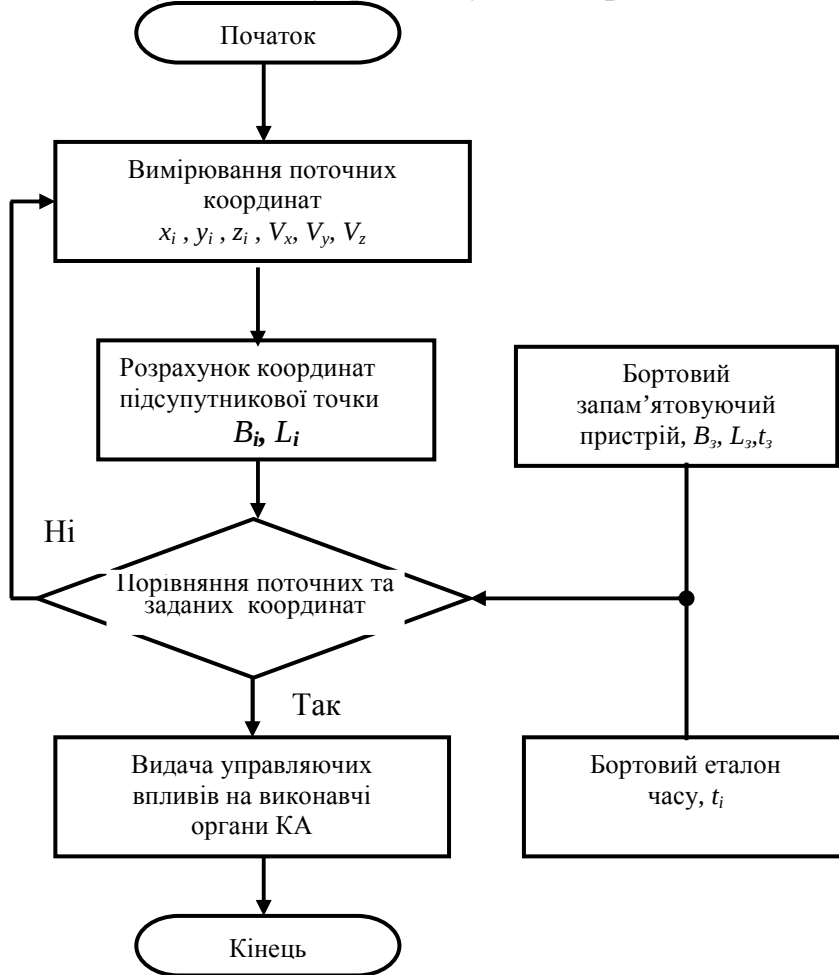
E_1, E_2 – напруженості поля опромінюючої та відбитої хвиль відповідно.

Означимо коефіцієнт збільшення ефективної відбиваючої поверхні k_r , як

$$k_r = 9 \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^4 = 9\pi^4 \left(\frac{d}{\lambda} \right)^4.$$

Очевидно, що він починає суттєво впливати у діапазоні розмірів космічних об'єктів $d = 0,2 \div 0,9\lambda$ і при зміні довжини хвилі у два рази коефіцієнт збільшення

ефективної відбиваючої поверхні k_r підвищиться в $2^4=16$ разів. Реалізація цього способу вимірювання фізичних полів космічних об'єктів дозволяє, поряд з координатною інформацією про маломірні космічні об'єкти отримати інформацію про їх розміри, що дозволить більш достовірно провести оцінювання небезпечності цих об'єктів для функціонуючих космічних апаратів та засобів їх виведення, каталогізувати та супроводжувати їх радіотехнічними засобами.



Розроблений координатно-часовий спосіб спостереження та розпізнавання космічних апаратів, який відрізняється від існуючих способів тим, що поряд з часовою вводиться просторова (координатна) складова частина програми роботи бортових систем КА. Реалізація запропонованої корисної моделі дозволяє забезпечити виконання операцій спостереження як в заданий час, так і в заданій точці простору з більшою, ніж у відомих способах спостереження точністю при спрощенні технічної реалізації.

Розроблений спосіб розпізнавання пунктів спостереження космічних апаратів, який відрізняється

Рис. 10. Алгоритм координатно-часового способу управління КА

від існуючих тим, що при авторизації наземної станції перевіряється відповідність її координат записаним на борту КА.

Розроблений спосіб автоматизованого оцінювання використання інформаційних полів стану космічного апарату, який відрізняється тим, що після операції проведення попереднього оброблення телеметричної інформації, розраховують та формують динамічну модель стану космічного апарату, проводять аналіз динамічного стану КА, формують інтегральну оцінку про стан бортових систем космічних апаратів, проводять сеанси спостереження КА та здійснюють видачу управляючих впливів. Розроблений спосіб доцільно використовувати у бортовому комплексі управління рухом перспективних космічних апаратів, що дозволить підвищити ступінь автономності та якість виявлення позаштатних ситуацій.

Розроблений спосіб навігаційного обслуговування космічних апаратів за

допомогою радіоінтерферометричних вимірювань з наддовгою базою та із застосуванням додаткових морських приймальних пунктів дозволяє значно розширити можливості існуючого наземного автоматизованого комплексу спостереження в напрямку визначення точних координат, у першу чергу, космічних об'єктів далекого космосу (рис.11).

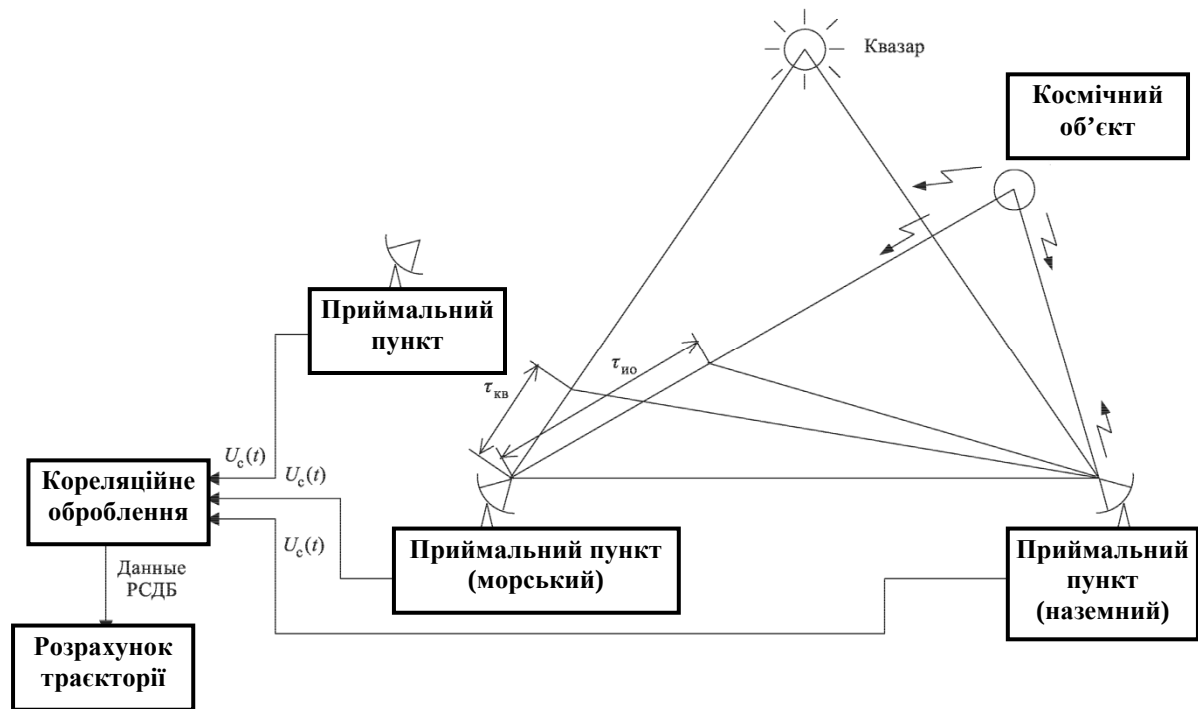


Рис.11. Структурна схема способу спостереження КА за допомогою радіоінтерферометричних вимірювань з наддовгою базою та з застосуванням додаткових морських приймальних пунктів

Науково-технічні рекомендації у сукупності реалізовані на практиці, підтверджені відповідними патентами на корисну модель дозволяють значно підвищити ефективність комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів як за оперативними, так і за цільовими характеристиками.

У шостому розділі проведений порівняльний аналіз та визначення оцінювання ефективності адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

Аналіз результатів проведених експериментальних досліджень (рис.12) дозволив практично довести можливість підвищення оперативних характеристик сучасної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

Додаткові дослідження можливостей використання дослідницького судна типу «Горизонт» для розміщення на ньому морського пункту спостереження для підвищення ефективності наземного автоматизованого пункту спостереження за космічними апаратами підтвердили правильність прийнятого рішення.

Розроблена методика підвищення ефективності наземного автоматизованого комплексу спостереження космічних апаратів за допомогою використання морського пункту спостереження дозволяє: здійснювати оперативне спостереження

КА поза зоною видимості існуючого наземного автоматизованого комплексу; забезпечувати оперативність вирішення телеметричних завдань спостереження під час виведення КА на задану орбіту шляхом завчасного розміщення морського пункту спостереження за напрямом траєкторії виведення КА, за рахунок чого зменшується час очікування зв'язку з КА; збільшується час інформаційного контакту КА практично у три рази залежно від широти місцезнаходження морського пункту спостереження, яка обмежується для судів з необмеженим районом плавання лише наявністю льодового покриву в арктичних і антарктичних районах; зменшується навантаження щодо спостереження КА, а так само зменшуються енергетичні витрати КА.

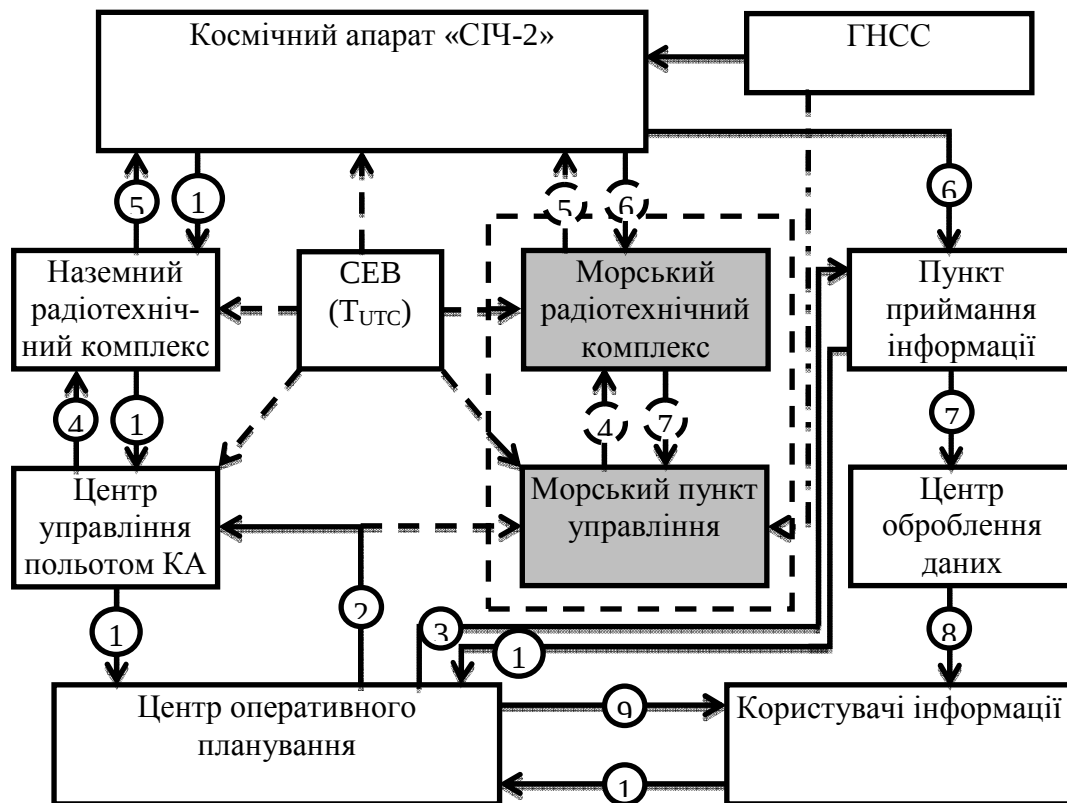


Рис. 12. Структурна схема експериментальних досліджень

На підставі аналізу тенденцій функціонування радіотехнічних комплексів спостереження далекого космосу варто запропонувати модернізацію існуючого радіотехнічного комплексу спостереження за космічними апаратами далекого космосу «Квант-Д» (м. Євпаторія).

Наведений технічний облік та технічні характеристики перспективного наземного радіотехнічного комплексу спостереження за космічними апаратами далекого космосу дозволить використання цього комплексу у виконанні спільних міжнародних програм досліджень далекого космосу як у частині приймання цільової (наукової) інформації, так і для спостереження за міжнародними космічними апаратами далекого космосу.

Розроблена методика спостереження геостационарних космічних об'єктів за допомогою оптичних засобів НЦУВКЗ дозволяє визначити місцезнаходження

космічних об'єктів у випадках, коли координатні дані про об'єкт відсутні в міжнародних каталогах (рис.13, 14).

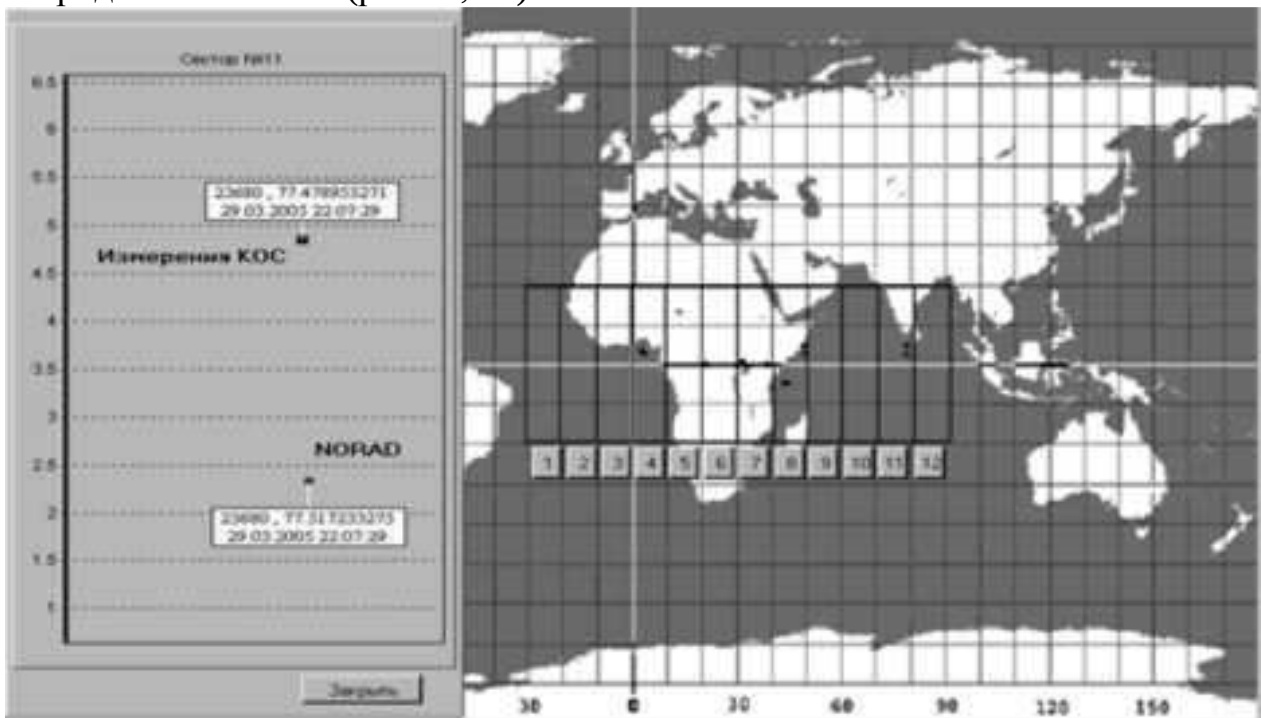


Рис. 13. Порівняння вимірювань KOC та NORAD по космічному об'єкту № 23680

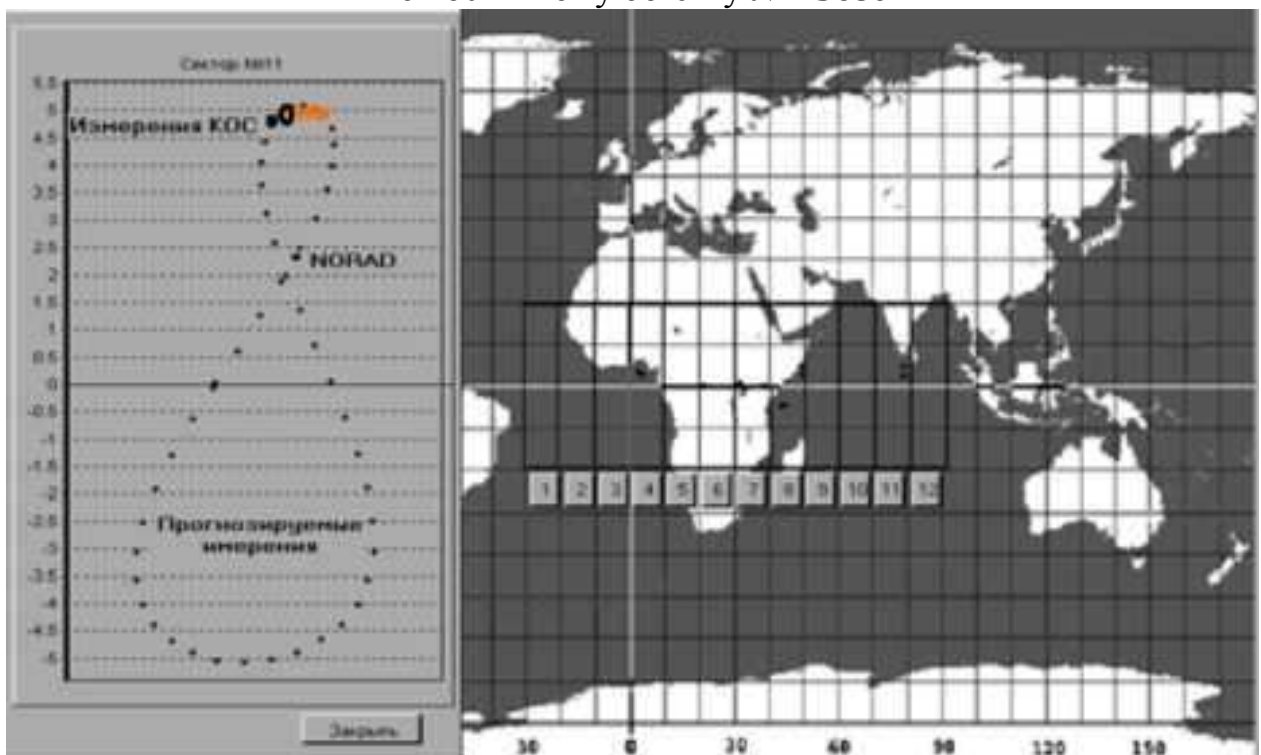


Рис. 14. Ідентифікація вимірювань квантово-оптичної системи з відкритим каталогом

Розроблені рекомендації щодо створення проекту перспективного радіотехнічного комплексу спостереження за космічними апаратами далекого космосу (рис.15).

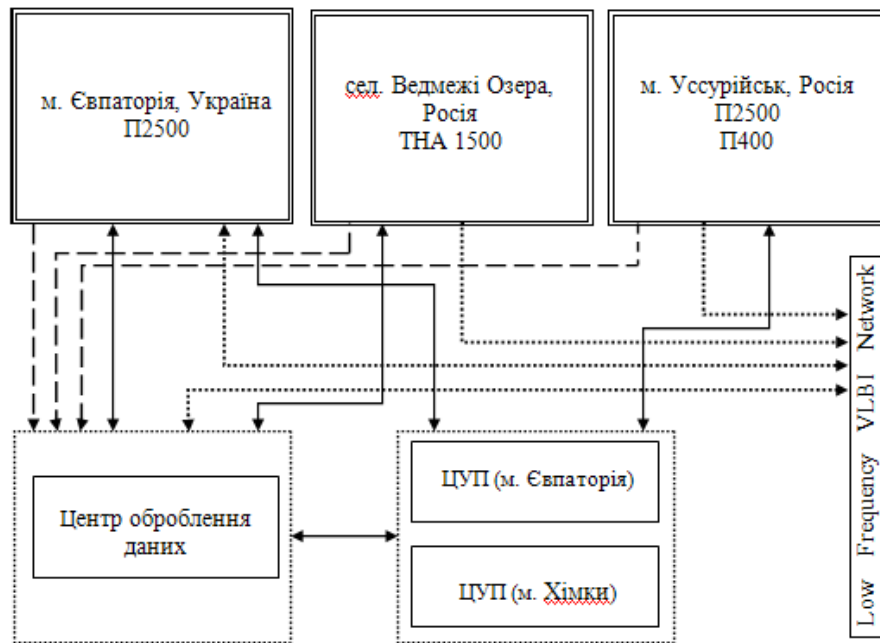


Рис. 15. Технічний облік перспективного комплексу спостереження за космічними апаратами далекого космосу:

← - - - - - телеметрична інформація;
 ————— командне-програмна інформація, балістико-навігаційна;
 цільова (інформація РНДБ)

Наведена структурна схема розроблених методологічних основ вирішення проблеми створення адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів (рис. 16.)

Оцінити та порівняти ефективність існуючої та розробленої адаптивної методики оперативного планування роботи апаратури БСК КА можливо за такими показниками: $N_{\text{ПЛ}}$ – кількість замовлених цільових завдань; $N_{\text{ЦЗ}}$ – кількість можливих цільових завдань на інтервалі планування; $J_{\text{ПДЗ}}$ – показник повноти отримання тематичних даних дистанційного зондування; $\bar{\alpha}^1$ – середня кількість помилок першого роду; $\bar{\beta}^2$ – середня кількість помилок другого роду; P^{α} – умовна імовірність помилок другого роду; P^{β} – умовна імовірність помилок другого роду; $T_{\text{ЦЗ}}$ – час вирішення тематичних завдань.

Показники ефективності існуючої та удосконаленої методики вирішення тематичних завдань представлені в табл. 1, на рис. 17.

Таблиця 1

Порівняння показників ефективності існуючої та удосконаленої методики вирішення тематичних завдань

	$N_{\text{ПЛ}}$	$N_{\text{ЦЗ}}$	$J_{\text{ПДЗ}}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{\beta}^2$	P^{α}	P^{β}	$T_{\text{ЦЗ}}$	R
Існуюча	170	110	0,8	5	3	0,035	0,025	90 хв	Вичерпаний
Удосконалена	170	152	0,89	1	1	0,005	0,005	36 хв	Продовжується

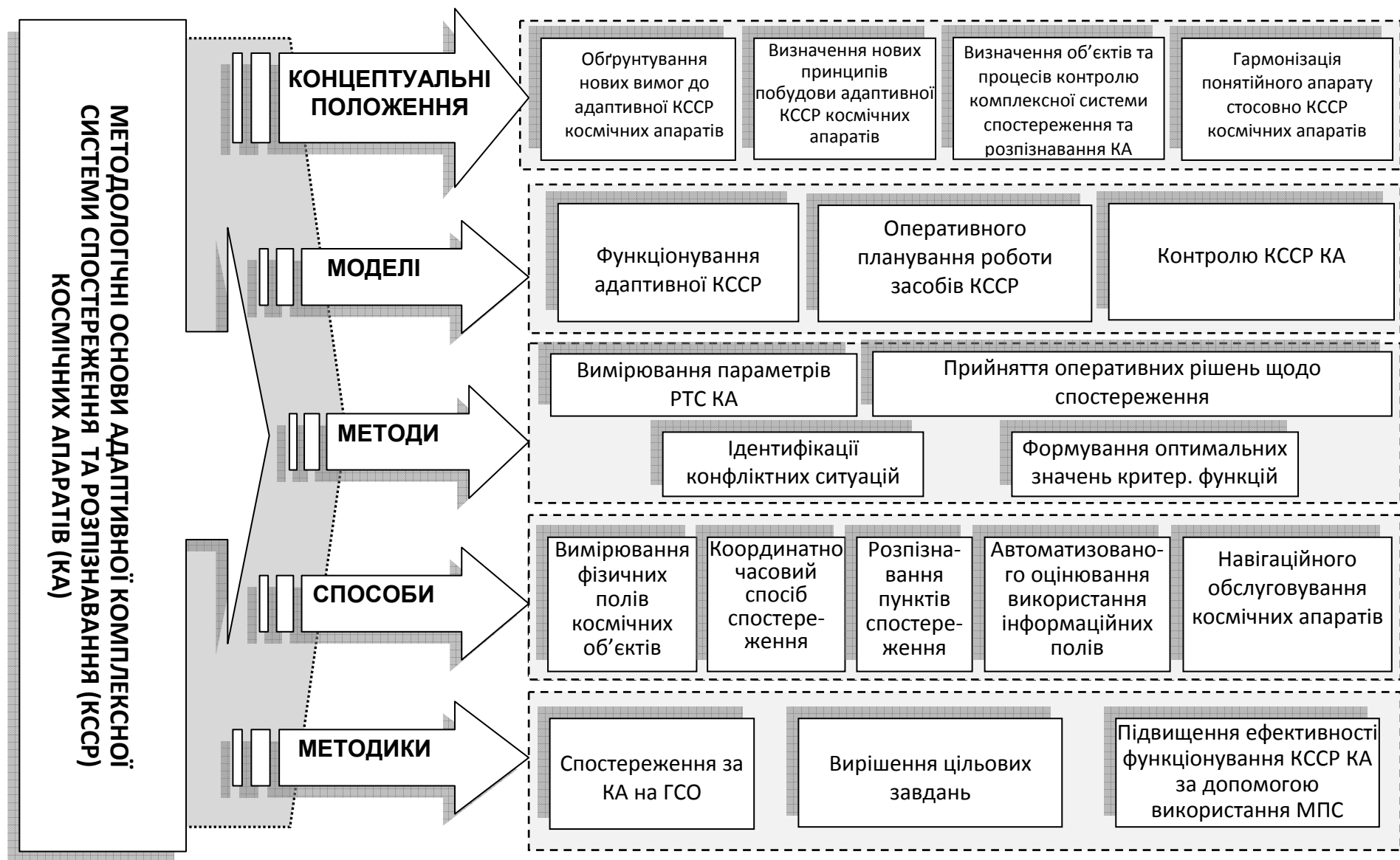


Рис. 16. Структурна схема методологічних основ створення адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів

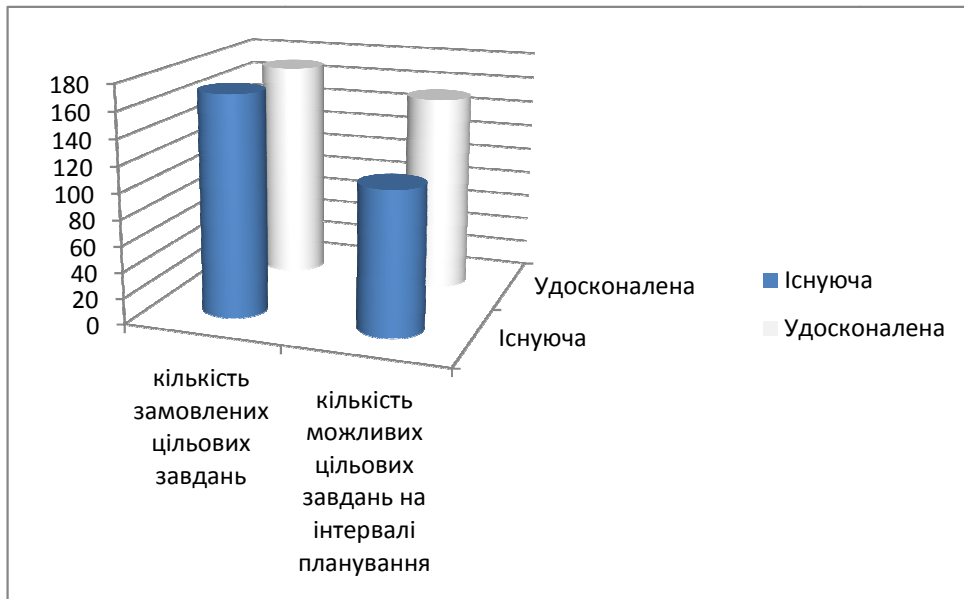


Рис. 17. Порівняльні показники ефективності існуючої та удосконаленої методики

Порівняльний аналіз дозволяє зробити висновок про те, що удосконалена методика дозволяє збільшити значення показника повноти інформації, зменшити час вирішення тематичних завдань та зменшити імовірність помилок 1-го і 2-го роду у разі забезпечення раціонального використання ресурсу апаратури КА.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі відповідно до поставленої мети на основі теоретичних і експериментальних досліджень вирішена важлива науково-прикладна проблема створення адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів в умовах постійного зростання складності цільових завдань та обмеження ресурсів на спостереження та розпізнавання за рахунок розроблення методологічних основ адаптації.

При цьому отримано ефект підвищення ефективності процесів спостереження та розпізнавання космічних об'єктів в умовах однопунктної технології управління космічними апаратами за показниками помилок управління, повноти інформації, часу вирішення цільових (тематичних) завдань у разі забезпеченні раціонального використання ресурсу апаратури КА.

У дисертаційній роботі отримані такі наукові і практичні результати:

1. Вперше досліджені закономірності впливу безперервного самокоректування стану системи спостереження та розпізнавання залежно від зміни режиму функціонування та за результатами дослідження визначено модель функціонування адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів, відмінною особливістю якої є можливість у напружених режимах функціонування системи отримувати ефект еквівалентний ефекту мінімаксного оператора, у спокійних ситуаціях отримувати ефект еквівалентний оператору інтегральної оптимальності.

2. Вперше розроблено модель оперативного планування роботи радіотехнічних засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів, відмінною особливістю якої є можливість здійснювати вибір найбільш пріоритетного варіанта функціонування на основі визначених критеріїв імовірності виконання цільового завдання, повноти отримання тематичних даних, ресурсних витрат, що надає можливість підвищити ефективність за рахунок можливості використання багатокритеріальної оптимізації оперативного плану функціонування космічного апарату.

3. Вперше запропоновано метод ідентифікації конфліктних ситуацій, що виникають при недосягненні поставлених цілей спостереження та розпізнавання космічних апаратів, відмінною особливістю якого є використання принципу адаптивності планування, який дозволяє запобігати, у першу чергу, конфліктним ситуаціям, які унеможлиблюють роботу засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання із космічними апаратами, а в другу чергу, конфліктним ситуаціям, які обмежують роботу радіотехнічних засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

4. Удосконалено метод вимірювання параметрів радіотехнічних систем космічного апарату, який на відміну від відомих, сформований на основі виконання умов регулярності завдання контролю за технічним станом, а саме: адекватності, спостерігаємості і конзистентності, що дозволяє вирішувати нелінійні завдання оцінювання параметрів радіотехнічних систем космічного апарату за допомогою отримання аналітичних виразів.

5. Удосконалено метод формування оптимальних значень критеріальних функцій, який відрізняється від відомих можливістю визначення єдиного комплексу цільових характеристик і можливістю коректування отриманих рішень за допомогою параметричних обмежень, що дозволяє точніше характеризувати відповідний стан перспективної системи спостереження й розпізнавання космічних апаратів.

6. Дістали подальшого розвитку методологічні основи теорії і практики адаптації комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів, що включають у себе замкнуту сукупність концептуальних положень, принципів, підходів, моделей та теоретичних методів, а також методичних, програмних та алгоритмічних прийомів інтенсифікації дослідницького процесу, реалізованих у вигляді способів і методик, що дозволяють підвищити ефективність процесів спостереження та розпізнавання в умовах однопунктної технології управління КА за цільовими характеристиками.

7. Дістала подальшого розвитку методологія інформаційного забезпечення процесів спостереження та розпізнавання космічних апаратів у напрямі розроблення математичних та модельних аспектів вимірювання параметрів адаптивної комплексної системи спостереження й розпізнавання космічних апаратів та автоматизації контролю і прогнозування її технічного стану.

8. Розроблено: спосіб вимірювання фізичних полів космічних об'єктів, що дозволяє достовірніше здійснювати оцінювання небезпечності цих об'єктів для спостереження функціонуючих космічних апаратів та засобів їх виведення, каталогізувати та супроводжувати їх радіотехнічними засобами КССР;

координатно-часовий спосіб спостереження та розпізнавання космічних апаратів, який дозволяє забезпечити виконання операції спостереження як в заданий час, так і в заданій точці простору з більшою, ніж у відомих способах спостереження точністю при спрощенні технічної реалізації; спосіб розпізнавання пунктів спостереження космічних апаратів, який дозволяє підвищити надійність спостереження за рахунок перевірки відповідності координат наземної станції спостереження із записаними на борту КА; спосіб автоматизованого оцінювання використання інформаційних полів стану космічного апарату, який дозволяє підвищити ступінь автономності космічного апарату та якість виявлення позаштатних ситуацій під час спостереження та розпізнавання космічних апаратів; спосіб навігаційного обслуговування космічних апаратів за допомогою радіоінтерферометричних вимірювань з наддовгою базою та із застосуванням додаткових морських приймальних пунктів, який дозволяє значно поширити можливості комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів в напрямку визначення точних координат, у першу чергу, космічних об'єктів далекого космосу.

9. Розроблені та удосконалені: методика спостереження геостаціонарних космічних об'єктів, яка дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності спостереження за космічними апаратами за рахунок визначення місцезнаходження некаталогізованих космічних об'єктів; методика підвищення ефективності функціонування комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів за допомогою використання морського пункту спостереження, яка дозволяє: здійснювати оперативне спостереження КА поза зоною видимості існуючого наземного пункту спостереження; забезпечувати оперативність вирішення телеметричних завдань спостереження при виведенні КА на задану орбіту, збільшити тривалість інформаційного контакту із КА практично в три рази залежно від широти місцезнаходження морського пункту спостереження; методика вирішення цільових завдань, яка дозволяє збільшити значення показника повноти інформації приблизно на 9 %, зменшити час вирішення тематичних завдань приблизно в 2,5 рази, а імовірність помилок 1-го роду в 7 разів, а імовірність помилок 2-го роду в 5 разів при забезпеченні раціонального використання ресурсу апаратури КА.

10. Запропоновані нові науково обґрунтовані рекомендації щодо створення перспективного наземного радіотехнічного комплексу спостереження за космічними апаратами далекого космосу дозволяють розглянути можливість використання даного комплексу у виконанні спільних міжнародних програм досліджень далекого космосу, а також значно підвищити ефективність перспективної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів як за оперативними, так і за цільовими характеристиками за рахунок модернізації існуючих наземних радіотехнічних засобів спостереження за космічними апаратами та використання їх за цільовим призначенням.

11. Експериментально було здійснено перевірку працездатності розробленої адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів та проведено оцінювання ефективності її функціонування за допомогою існуючих програмно-апаратних комплексів ЦУП КА.

12. Гармонізація термінів та понять стосовно адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів з відповідними міжнародними та національними стандартами надає змогу спільного спостереження космічних апаратів з різних центрів спостереження.

Терміни та визначення понять, які розроблені автором стосовно перспективної адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів, можуть бути рекомендовані для застосовування у роботі підприємств, установ і організацій, які діють в Україні, технічних комітетів стандартизації, науково-технічних та інженерних товариств, міністерств та відомств.

Результати виконаних досліджень свідчать про необхідність подальшого врахування при створенні адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів:

- особливостей бортового комплексу управління;
- основних вимог та структури бортового комплексу управління різноманітного цільового призначення;
- алгоритмів інформаційного забезпечення спостереження космічних апаратів у зоні польоту, який характеризується відсутністю апіорної інформації та відсутністю зони радіозв'язку із пунктом спостереження;
- особливостей телеметричного та балістичного забезпечення бортових систем управління (використання удосконалених моделей руху космічних апаратів).

13. Основні результати дисертації реалізовані на підприємствах Державного космічного агентства України, у Державному підприємстві “Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління”, у Національному Центрі управління та випробувань космічних засобів (м.Євпаторія), у Центрі контролю космічного простору (м.Євпаторія), у навчальному процесі Київської державної академії водного транспорту, Національного авіаційного університету, що підтверджено 7 актами впровадження.

14. За результатами дослідження комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів варто відзначити такі напрями подальшого розвитку КССР:

- удосконалення методологічних основ створення адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів;
- підвищення ступеня автономності космічного апарату за рахунок підвищення автоматизації операцій процесу спостереження, у тому числі на основі впровадження методів штучного інтелекту;
- поширення можливостей вирішення завдань спостереження, що вирішуються на борту космічного апарату, за рахунок удосконалення засобів контролю та управління;
- збільшення відносної величини часу спостереження комплексною системою спостереження та розпізнавання космічних апаратів;
- впровадження методів спостереження, які дозволяють реалізовувати план польоту на тривалий термін з подальшою автоматичною реалізацією на борту космічного апарату;

- удосконалення усіх видів інформаційного забезпечення спостереження (командно-програмного, балістико-навігаційного, контролю за станом) та доведення їх до рівня програмно-математичного забезпечення;
- розвиток методів і засобів моделювання процесу спостереження для використання у процесі функціонування Центру управління польотом;
- удосконалення методів та розроблення науково-технічних рекомендацій щодо уніфікації спостереження (спільного спостереження з декількох центрів різних держав).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Богом'я В.І. Методологічні основи створення адаптивного наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами/ В.І. Богом'я / – К.: КДАВТ, 2013. – 270 с.

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Богом'я В.І. Дослідження балістико-навігаційного забезпечення управління перспективними національними космічними апаратами/ В.І. Богом'я, А.М. Явтушенко, І.М. Коваль, С.Д. Ставицький// Харків: ХУПС, "Системи обробки інформації", 2005. – Вип. 3(43). – С.134–138. – *Розроблені науково-технічні рекомендації щодо створення перспективної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів далекого космосу.*
2. Богом'я В.І. Тенденції розвитку форм та способів застосування космічних систем у війнах майбутнього / В.І. Богом'я, А.М. Явтушенко, О.М. Загорулько, С.Д. Ставицький // Харків: ХУПС, "Системи обробки інформації", 2005. – Вип. 4(44). – С.174–177. – *Зроблений висновок щодо необхідності створення методологічних основ адаптації комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.*
3. Богом'я В.І. Дослідження нелінійних інерційних процесів у командно-вимірювальних системах наземного радіотехнічного комплексу/ В.І. Богом'я, А.М. Явтушенко, С.В. Козелков, С.Д. Ставицький, Д.П. Пашков// Харків: ХУПС, "Системи обробки інформації". – 2005. – Вип. 5(45). – С.38–41. – *Наведені рекомендації щодо поширення можливостей вирішення завдань спостереження за рахунок удосконалення наземних радіотехнічних засобів навігаційного обслуговування.*
4. Богом'я В.І. Координатно-временной способ управления космическими аппаратами в условиях однопунктной технологии / В.И. Богомья, О.М. Загорулько, В.В. Мироненко, А.А. Моргун, В.В. Ожинский// К.: ИК им. В.М. Глушкова НАН Украины, "Проблемы управления и информатики", 2007. – № 1. – С.104 – 108. – *Запропонований спосіб, який дозволяє забезпечити виконання операцій спостереження з більшою, ніж у відомих способах точністю при спрощенні технічної реалізації.*
5. Богом'я В.І. Исследования способов аналитического описания районов поверхности Земли в системах управления космическими аппаратами/ В.И. Богомья, А.Н. Загорулько, А.А. Моргун, В.В. Ожинский// К.: Центральный научно-дослідний

інститут навігації і управління, "Системи управління, навігації та зв'язку", 2007.— Вип.2.— С.52–54.— *Розглянута можливість використання розробленого автором способу урахування особливостей районів зйомки під час виконання цільових завдань космічними апаратами.*

6. Богом'я В.І. Аналіз можливості використання ефекту розсіювання для визначення космічного сміття/ В.І. Богом'я, О.М. Загорулько, О.А. Моргун //Дніпропетровськ.: "Космічна наука і технологія". – 2007. – Т.13, №3.— С.31–34.— *Розроблені науково-технічні рекомендації щодо створення перспективної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів далекого космосу.*

7. Богом'я В.І. Устройство для ввода информации от двухпозиционных датчиков летательных аппаратов/В.І. Богом'я, А.Г. Писанко //К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, "Системи управління, навігації та зв'язку", 2007.— Вип.3.— С.135–136.— *Наведені шляхи підвищення ефективності функціонування бортового комплексу управління рухом та підвищення ступеню його автономності за рахунок удосконалення системи енергопостачання космічного апарату.*

8. Богом'я В.І. Наукові проблеми навігації та управління при створенні перспективної космічної структури України/В.І. Богом'я, С.В. Козелков, О.А. Машков, О.А. Моргун, Б.В. Дурляк// – К.: Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці НАНУ, 2008. – Вип.46. – С.75–93. – *Проаналізовані особливості процесів у командно-вимірювальних системах наземного радіотехнічного комплексу як складової комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.*

9. Богом'я В.І. Дослідження функціонування систем електропостачання окремих балістичних ракет/В.І. Богом'я, О.М. Загорулько, А.Г. Писанко // Дніпропетровськ: Міністерство освіти і науки України, "Вісник Дніпропетровського університету", 2008, Т.16 (№4), серія Ракетно- космічна техніка, Випуск 12, том 2. – С.54–59.— *Наведені шляхи підвищення ступеню автономності бортового комплексу управління рухом за рахунок удосконалення системи енергопостачання космічного апарату.*

10. Богом'я В.І. Проблеми розвитку радіонавігаційного забезпечення/В.І. Богом'я, С.В. Козелков, С.М. Кучерук, Б.А. Костенко //Харків: ХУПС, "Системи озброєння і військова техніка", 2009.— Вип. 4(20).—С.120–124.— *Розроблені науково-технічні пропозиції щодо підвищення ефективності функціонування комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів, які дозволяють відповідно забезпечити достовірне оцінювання небезпечності визначених космічних об'єктів для функціонуючих космічних апаратів та підвищити точність визначення координат, у першу чергу, космічних об'єктів далекого космосу.*

11. Богом'я В.І. Методика ведення зонального каталога геостационарних космічних об'єктів с помощью оптических средств Национального центра управления и испытаний космических средств/В.І. Богом'я, С.С. Москаленко //К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, "Системи управління, навігації та зв'язку", 2010.— Вип.3(15).— С.39–43.—*Розроблені алгоритми*

методики отримання координат космічних апаратів на геостационарної орбіті та методики визначення некаталогізованих космічних апаратів.

12. Богом'я В.І. Основные направления создания морского пункта управления космическими аппаратами /В.І. Богом'я, С.В. Козелков, В.В. Панин, В.С. Давыдов, А.Н. Загорулько//К.: Центральный научно-дослідний інститут навігації і управління, "Системи управління, навігації та зв'язку", 2011.— Вип.2(18).— С.39–43.— *Наведені шляхи підвищення ефективності функціонування комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів за рахунок застосування морського пункту спостереження.*

13. Богом'я В.І. Пути повышения эффективности функционирования украинских космических систем наблюдения Земли/В.І. Богом'я, И.В. Тихонов, С.В. Козелков, В.В. Панин, В.С. Давыдов, А.Н. Загорулько//К.:КДАВТ, "Водний транспорт", 2010.—Вип.11.—С.5–10.—*Розроблені методи спостереження та розпізнавання космічних апаратів за допомогою наземного пункту спостереження, супутника-ретранслятора, морського пункту спостереження.*

14. Богом'я В.І. Комплекс мониторинга загрязнения водной поверхности/В.І. Богом'я, Д.А. Блоха, В.С. Давыдов // К.:КДАВТ, "Водний транспорт", 2011. —Вип.12.—С.10–13.— *Постановка завдання дослідження, розроблені науково-технічні пропозиції щодо підвищення ефективності космічної системи ДЗЗ за рахунок удосконалення морських пунктів спостереження.*

15. Богом'я В.І. Про деякий підхід до оцінки ефективності навігаційного обслуговування/В.І. Богом'я, Д.А. Блоха, Т.В. Уварова// К.:КДАВТ, "Водний транспорт", 2012.—Вип.2(14).—С.13–15. — *Запропоновані критерії та показники ефективності функціонування комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів, наведені структурні схеми оптимізаційного блоку.*

16. Богом'я В.І. Методика повышения качества функционирования системы мониторинга загрязнения водной поверхности/В.І. Богом'я, Д.А. Блоха, А.П. Колесник //К.: Центральный научно-дослідний інститут навігації і управління, «Системи управління, навігації та зв'язку», 2012.— Вип.1(21), том 2.— С.215–217.— *Розроблені науково-технічні пропозиції щодо підвищення ефективності космічної системи ДЗЗ за рахунок удосконалення морських пунктів спостереження.*

17. Богом'я В.І. Аналіз вимог до наземного автоматизованого комплексу управління космічними аппаратами/В.І. Богом'я, Д.А. Блоха // — Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, "Наука і техніка повітряних сил Збройних сил України", 2012.— Вип.1(7). — С.155–157.— *Визначений напрям подальшого розвитку комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів як розвиток методів і засобів моделювання процесу спостереження та розпізнавання для використання в процесі функціонування Центру управління польотом та визначені вимоги уніфікації та адаптивності.*

18. Богом'я В.І. Повышение эффективности системы управления космическими аппаратами путем использования морского пункта/В.І. Богом'я, В.Н. Азарсков, В.С. Давыдов, Д.А. Блоха // — К.: НАУ, "Електроніка та системи управління".—2012.— Вип.1(31).— С.76–82.— *Розроблені науково-технічні пропозиції щодо підвищення ефективності функціонування комплексної системи спостереження та*

розпізнавання космічних апаратів за допомогою використання додаткових морських пунктів спостереження.

19. Богом'я В.І. Особливості ідентифікації геостаціонарних космічних об'єктів /В.І. Богом'я// Водний транспорт. – К.:КДАВТ, 2012. –Вип.3(15).–С.193–199.

20. Богом'я В.І. Спосіб визначення геометричних розмірів космічних об'єктів/ В.І. Богом'я //Системи управління, навігації та зв'язку.– К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2012.– Вип.3(23).– С.57–59.

21. Богом'я В.І. Оцінка стану космічних апаратів/ В.І. Богом'я// Водний транспорт. – К.:КДАВТ, 2013. –Вип.1(16).–С.168–173.

22. Богом'я В.І. Визначення критеріїв та показників ефективності функціонування космічних апаратів спостереження Землі/ В.І. Богом'я//Водний транспорт. – К.:КДАВТ, 2013. –Вип.2(17).–С.208–211.

23. Богом'я В.І. Автоматизовані системи контролю КА на геостаціонарній орбіті/ В.І. Богом'я, О.М. Загорулько, С.М. Кучерук, Т.В. Уварова//Вісник Національного транспортного університету: в 2-х частинах: Ч. 2. – К.: НТУ,2012. – Випуск 26. –С.467–472.–*Постановка завдання дослідження, розроблені алгоритми методики визначення некаталогізованих космічних апаратів.*

24. Богом'я В.І. Комплекс показників ефективності функціонування системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів/В.І. Богом'я//Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони// К.:Національний університет оборони України, 2012. –2(14).–С.14–16.

25. Богом'я В.І. Методологічні основи створення адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів/ В.І. Богом'я//Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К.:Національний університет оборони України, 2012. –3(15).–С.94–96.

26. Богом'я В.І. Спосіб ідентифікації станції управління/ В.І. Богом'я//Наука і техніка повітряних сил збройних сил України.– Х.: Харківський університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип.1(10).–С.202–204.

Патенти:

1. Пат. № 38812, Україна, МПК G05В 17/00. Спосіб захисту командних радіоліній космічних апаратів/ Богом'я В.І., Загорулько О.М., Ожинський В.В.– № u2008 06746; заявл. 16.05.2008; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2.

2. Пат. № 47608, Україна, МПК В 64G 1/24. Спосіб побудови орбітального угруповання космічних апаратів спостереження Землі/ Богом'я В.І., Загорулько О.М., Костенко Б.О.– № u2009 09790; заявл. 25.09.2009; опубл. 10.02.2010, Бюл. №3.

3. Пат. № 38657, Україна, МПК G05В 17/00. Спосіб отримання даних про хмарність району зйомки// Богом'я В.І., Загорулько О.М., Ожинський В.В.–№ u2008 08682; заявл. 01.07.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл. № 1.

4. Пат. № 31413, Україна, МПК В64G 1/24. Спосіб установлення зв'язку низькоорбітальним космічним апаратом з супутником-ретранслятором./ Богом'я В.І., Загорулько О.М., Засуха С.О., Ожинський В.В.–№ u200712729; заявл. 16.11.2007; опубл. 10.04.2008, Бюл. № 7.

5. Пат. № 32156, Україна, МПК В64G 1/36. Пристрій для авто спостережень на основі приладів дистанційного зондування Землі/ Богом'я В.І., Загорулько О.М., Ожинський В.В.–№ u200713688; заявл. 07.12.2007; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9.

6. Пат. № 32157, Україна, МПК В64G 1/24. Спосіб визначення поточних навігаційних параметрів космічного апарата/ Богом'я В.І., Загорулько О.М.–№ u2007 13689; заявл.07.12.2007; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9.

7. Пат. № 32203, Україна, МПК G05B 17/00. Спосіб керування космічними апаратами/ Богом'я В.І., Загорулько О.М., Ожинський В.В.– № u2007 14102; заявл. 14.12.2007; опубл. 12.05.2008, Бюл. № 9.

8. Пат. № 334041, Україна, МПК В64G 1/24. Спосіб автоматизованої оцінки телеметричної інформації про стан бортових систем космічних апаратів/ Богом'я В.І., Загорулько О.М., Писанко А.Г.–№ u2008 00611; заявл. 18.01.2008; опубл. 25.06.2008, Бюл. № 12.

9. Пат. № 24686, Україна, МПК G01C 21/24 G01S 5\02. Інтегрована система навігаційного забезпечення низькоорбітальних космічних апаратів/ Богом'я В.І., Загорулько О.М., Моргун О.А., Козелкова К.С.–№ u20070230; заявл. 03.03.2007; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 10.

10. Пат. № 25020. Україна, МПК В64G 1/24. Спосіб установлення зв'язку космічним апаратом з наземною станцією керування/ Богом'я В.І., Загорулько О.М., Моргун О.А., Козелкова К.С.– № u200702302; заявл. 03.03.2007; опубл. 25.07.2007, Бюл. № 11.

11. Пат. № 20673, Україна, МПК G05D 1/12. Спосіб керування шириною діаграми спрямованості антенних систем/ Богом'я В.І., Загорулько О.М., Моргун О.А.– № u200606270; заявл. 05.06.2006; опубл. 15.02.2007, Бюл. № 2.

12. Пат. № 18972, Україна, МПК H04 B7/00. Спосіб визначення геометричних розмірів космічних об'єктів/ Богом'я В.І., Загорулько О.М., Моргун О.А.– № 200607255; заявл.06.2006; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11.

13. Пат. № 19490, Україна, МПК В64 G1/24. Координатно – часовий спосіб управління космічними апаратами/ Богом'я В.І., Загорулько О.М., Моргун О.А.– № u200607244; заявл. 30.06.2006; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.

14. Пат. 72415, Україна, МПК В 64G 1/24 (2006.01). Спосіб установлення зв'язку низькоорбітального космічного апарата з морським пунктом керування/ Богом'я В.І., Загорулько О.М., Соколовський С.О., Давидов В.С.– № u2011 11546; заявл. 29.09.2011; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 16.

Тези доповідей:

1. Богом'я В.І. Рекомендації, щодо застосування космічних засобів в Україні// В.І. Богом'я, А.М. Явтушенко // К.: НАОУ, Матеріали НПС, 2005.–С.37.

2. Богом'я В.І. Проблемы применения космических средств в интересах обороны и безопасности/В.І. Богом'я, А.Н. Загорулько, Г.М. Власенко, С.Д. Ставицький//Київ.: НАОУ, Матеріали НПК „Застосування космічних систем в інтересах національної безпеки та оборони”.–2005. – С.25.

3. Богом'я В.І. Проблеми застосування космічних засобів в інтересах безпеки й оборони/ В.І. Богом'я, О.М. Загорулько // – Житомир: ЖВІРЕ, Труди XV науково-технічній конференції ЖВІРЕ 20–21 мая 2006. – 2006.– С.12.

4. Богом'я В.І. Особенности однопунктной системы управления КА/ В.І. Богом'я, А.Н. Явтушенко, А.Н. Загорулько//Евпатория.: Труды 5 Украинской Конференции по космическим исследованиям.– 2005. – С.206.

5. Богом'я В.І. Justification of requirements for a long-term ground automated complex of spacecraft control in geostationary orbit / В.І. Богом'я, В.М. Азарсков// К.: НАУ, V Всесвітній конгрес "Авіація у ХХІ столітті" – "Безпека в авіації та космічні технології", 2012.– Вип.1(31).– С.111.

6. Богом'я В.І. Методика підвищення якості функціонування системи моніторингу забруднення водної поверхності/ В.І. Богом'я, Д.А. Блоха, А.П. Колесник// Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, Вісьма наукова конференція ХУПС імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору»: тези доповідей, 18–19 квітня 2012 року.– С.318–319.

7. Богом'я В.І. ЦНДІ НіУ, роль і місце в розв'язку науково-дослідних завдань забезпечення навігації та управління на морському та річному транспорті України/В.І. Богом'я, Г.Л. Баранов //Київ: КДАВТ ім. П.Конашевича-Сагайдачного, Матеріали 15-ої науково-методичної конференції 28.03–01.04. 2011 року.–2011. – С.6.

8. Богом'я В.І. Про науково-методичний апарат підвищення рівня безпеки судноплавства/ В.І. Богом'я, І.В. Тихонов //Київ: КДАВТ, " Актуальні проблеми підготовки командних кадрів торговельного флоту: зб. тез доповідей міжнародного науково-практичного семінару", 2011. – С.7.

9. Богом'я В.І. Метод определения некаталогизированных космических объектов на геостационарной орбите/ В.І. Богом'я, С.С. Москаленко, А.Н. Богдановский // Київ: ДП «ЦНДІ НіУ», "Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку: матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції 5–6 липня 2010 року".– 2010. – С.13–14.

10. Богом'я В.І. Устройство сбора информации орбитальных космических средств/ В.І. Богом'я, А.Г. Писанко // Київ: ІКД НАНУ-НКАУ, Збірник тез 7-ої Української конференції з космічних досліджень 3–8 вересня 2007 р. – 2007. – С.128.

11. Богом'я В.І. Основные принципы построения унифицированной автоматизированной системы управления КА ДЗЗ/ В.І. Богом'я, О.М. Загорулько//Рівне.: Матеріали наради "Можливості сучасних ГІС/ДЗЗ-технологій у сприянні вирішення проблем Рівненщини" 12–14 грудня 2006.

12. Богом'я В.І. Пути повышения качества функционирования систем электропитания летательных аппаратов/ В.І. Богом'я, А.Г. Писанко // – Євпаторія, "Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту". Збірка наукових праць ISDMCI 2008. – 2008.– Том 3 (част.2) – С.65–66.

Державні стандарти України:

1. Устаткування і системи морської навігації та радіозв'язку. Реєстратори даних рейсу (суднові). Частина 2. Реєстратори даних рейсу спрощені (С-РДР). Експлуатаційні вимоги, методи випробування та необхідні результати випробування. (Державний стандарт України) ІЕС 61996-2:2011, IDT: ДСТУ ІЕС 61996-2:2010/Богом'я В.І., Козелкова К.С., Баранов Г.Л., Ставицький С.Д.– К.:Держспоживстандарт України, 2010.–189 с. – *Розроблені технічні та*

експлуатаційні вимоги, методи випробування та вимоги до результатів випробувань реєстраторів даних рейсу морського пункту спостереження космічних апаратів.

2. Устаткування і системи морської навігації та радіозв'язку. Система відображення електронних карт та інформації. Технічні та експлуатаційні вимоги, методи випробування та вимоги до результатів випробувань. (Державний стандарт України) ІЕС 61174-2008, IDT: ДСТУ ІЕС 61174:2010/ Богом'я В.І., Козелкова К.С., Баранов Г.Л., Ставицький С.Д.–К.:ДержспоживстандартУкраїни, 2010.–82 с. – *Розроблені технічні та експлуатаційні вимоги, методи випробування та вимоги до результатів випробувань системи відображення інформації щодо наявності радіозв'язку із космічними апаратами морського пункту спостереження.*

АНОТАЦІЯ

Богом'я В.І. Методологічні основи створення адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи. Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного – Київ, 2014 р.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесів навігації і управління рухом у космічному просторі, засобів їх навігаційного обслуговування за допомогою розроблення методологічних основ адаптації комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі сформульовані і вирішені такі основні завдання: проведений аналіз відомих підходів щодо підвищення ефективності процесів навігації і управління рухом у космічному просторі, засобів їх навігаційного обслуговування; сформована структура адаптивної комплексної системи ефективного спостереження та розпізнавання космічних апаратів; сформовані функції та структура контролю комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів; розроблена модель оперативного планування роботи засобів комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів; розроблені науково-технічні способи підвищення ефективності функціонування комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів; проведений порівняльний аналіз та визначення оцінювання ефективності адаптивної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

Аналіз результатів проведених експериментальних досліджень дозволив практично довести можливість підвищення оперативних та цільових характеристик сучасної комплексної системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

Ключові слова: комплексна система спостереження та розпізнавання космічних апаратів, радіотехнічні засоби спостереження, адаптивність спостереження, модель, контроль спостереження космічного апарату.

АННОТАЦИЯ

Богомья В.И. Методологические основы создания адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. Киевская государственная академия водного транспорта имени гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного – Киев, 2014 р.

Работа посвящена разработке методологических основ построения адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов (КССР), исследованию путей повышения эффективности наблюдения и распознавания космических аппаратов в условиях постоянного повышения сложности целевых заданий и ограниченных ресурсах на наблюдение. В первом разделе на основе теоретическое - экспериментального подхода проведен анализ путей по повышению эффективности адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов, определены тенденции развития комплексных систем наблюдения и распознавания космических аппаратов, на их основе установлены подходы к повышению эффективности процесса наблюдения космических аппаратов в современных условиях, приведена оценка процессов функционирования при наблюдении космических аппаратов и приведены пути решения проблемы необходимости построения адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов.

Во втором разделе приведены обоснования требований к адаптивной комплексной системе наблюдения и распознавания космических аппаратов. Также был определен понятийный аппарат, который необходим для гармонизации терминов и понятий адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов с соответствующими международными и национальными стандартами. Приведены принципы построения адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов. Разработан метод формирования оптимальных значений критериальных функций.

По результатам исследований, проведенных во второй главе была разработана модель функционирования адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов, которая позволяет адекватно реализовать наблюдение различных космических аппаратов в условиях постоянного усложнения целевых задач и ограничений существующей технологии управления.

В третьем разделе определены объекты и процессы контроля наблюдения космических аппаратов, разработан метод телеметрического контроля состояния космических аппаратов, приведена классификация нештатных ситуаций при наблюдении космических аппаратов и разработан алгоритм принятия оперативных решений по наблюдению космических аппаратов при возникновении нештатных ситуаций. По результатам исследований, проведенных в третьем разделе была разработана модель контроля наблюдения и распознавания космических аппаратов.

В четвертом разделе разработан метод оперативного планирования средств адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов. Также определены уровни планирования наблюдения космических аппаратов, разработаны метод оперативного планирования работы средств

адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов и метод предотвращения конфликтных ситуаций. Кроме того, разработан метод повышения точности выполнения управляющих воздействий и приведена структура методологии информационного обеспечения наблюдения космических аппаратов.

В пятом разделе предложены научно-технические предложения по построению адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов. Проведенные в данном разделе исследования особенностей функционирования перспективных КССР на основе разработанных и запатентованных способов обеспечения наблюдения КА: с помощью организации радиоинтерферометрических измерений с применением дополнительных морских приемных пунктов; автоматизированной оценки телеметрической информации о состоянии бортовых систем космических аппаратов; идентификации свойств станции наблюдения; определения геометрических размеров космических объектов; применения координатно - временного способа наблюдения космических аппаратов позволяют сделать вывод о возможности практической реализации разработанных научно-технических предложений.

В шестом разделе приведены особенности применения разработанных методологических основ адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов в условиях постоянного роста сложности целевых задач и ограничения ресурсов наблюдения и приведена оценка эффективности функционирования предлагаемой адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов. Были разработаны программы и методики экспериментальных исследований и осуществлена экспериментальная проверка методики повышения эффективности функционирования адаптивной комплексной системы наблюдения и распознавания космических аппаратов и методики ведения зонального каталога геостационарных космических объектов с помощью оптических средств Национального центра управления и испытаний космических средств. Также разработаны рекомендации по созданию перспективного наземного радиотехнического комплекса наблюдения космическими аппаратами дальнего космоса.

Ключевые слова: наземный автоматизированный комплекс управления, космические аппараты, радиотехнические средства наблюдения, адаптивность, модель, контроль наблюдения за космическим аппаратом.

SUMMARY

Bohomia V. Methodological basis for the creation of adaptive ground control complex automated spacecraft. - Manuscript.

Dissertation for the degree of doctor of technical sciences, specialty 05.12.17 - Radio and television systems. Kyiv State Academy after hetman Petro Konashevych Sagaydachnyi, 2014.

The work is devoted to development of the methodological foundations of creating adaptive ground control complex automated spacecraft, researching ways to improve the efficiency of spacecraft in a continuous increase in the complexity of targets and resources management.

To achieve this goal in the thesis formulated and solved the following main tasks: the analysis of approaches to improve the efficiency of ground control complex automated spacecraft, developed model of adaptive ground control complex automated spacecraft, the model control Mission Control, the model of operational planning work of ground automated control system, developed by scientific and technical proposals for the creation of adaptive ground control complex automated spacecraft.

An evaluation of the effectiveness of adaptive ground control complex automated spacecraft through experiment. Analysis of the results of experimental studies allowed practically demonstrate the possibility of increasing operational and target characteristics of modern automated ground control complex spacecraft.

Keywords: automated ground control complex, spacecraft, adaptive control, model control flight.

Підписано до друку 15.09. 2014 р. Формат 60×84/16.

Умовн.друк.арк. 2,0.

Наклад 100 прим. Зам. 7-117

Київська державна академія водного транспорту
імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного
Друкарня КДАВТ.

Адреса друкарні: 04073, Київ, вул. Фрунзе, 9
417-57-23