

ДЕРЖАВНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ



НАЦІОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР УПРАВЛІННЯ ТА
ВИПРОБУВАНЬ КОСМІЧНИХ ЗАСОБІВ

STATE SPACE AGENCY OF UKRAINE

NATIONAL SPACE FACILITIES CONTROL
AND TEST CENTER



АЕРОКОСМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Випуск 2 (02)

Науковий журнал

Заснований у 2017 році

У журналі публікуються результати наукових досліджень з космічної тематики. Журнал призначений для наукових працівників, викладачів, докторантів та аспірантів, а також студентів старших курсів відповідних спеціальностей.

Засновник і видавець:

Національний центр управління та випробувань космічних засобів

Адреса редакційної колегії:

Україна, 01010, м. Київ,
вул. Московська, 8

Телефон:

(044) 281-62-98

E-mail:

magazine@spacecenter.gov.ua

Інформаційний сайт:

<http://www.spacecenter.gov.ua>

AEROSPACE TECHNOLOGIES

Issue 2 (02)

Scientific journal

Founded in 2017

The journal publishes the results of scientific research on space subjects. The journal is intended for researchers, lecturers, doctoral students and graduate students, as well as senior students of the corresponding specialties.

Founder and publisher:

National Space Facilities Control And Test Center

Mailing address:

8 Moskovska Street, Kyiv,
Ukraine, 01010

Phone:

(044) 281-62-98

E-mail:

magazine@spacecenter.gov.ua

Information site:

<http://www.spacecenter.gov.ua>

Затверджений до друку Науково-технічною радою Національного центру управління та випробувань космічних засобів (протокол від 19 грудня 2017 року № 14)

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 22629-12529Р від 24.03.2017 р.

За достовірність викладеного матеріалу, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор

Київ
2017

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**Головний редактор:**

ПРИСЯЖНИЙ Володимир Ілліч
(канд. техн. наук, с.н.с., Україна)

Заступник головного редактора:

МОСОВ Сергій Петрович
(д-р військ. наук, проф., Україна)
МАШКОВ Олег Альбертович
(д-р техн. наук, проф., Україна)

Члени редакційної колегії:

АЗАРСКОВ Валерій Миколайович
(д-р техн. наук, проф., Україна)
БАРАНОВ Георгій Леонідович
(д-р техн. наук, проф., Україна)
БОГОМ'Я Володимир Іванович
(д-р техн. наук, проф., Україна)
БУТКО Ігор Миколайович
(канд. техн. наук, Україна)
ВАЩЕНКО Володимир Миколайович
(д-р фіз.-матем. наук, с.н.с., Україна)
ВОЛОШИН В'ячеслав Іванович
(канд. техн. наук, Україна)
ДРАНОВСЬКИЙ Володимир Йосифович
(д-р техн. наук, проф., Україна)
ІЛЬІН Олег Юрійович
(д-р техн. наук, проф., Україна)
ІЛЮШКО Віктор Михайлович
(д-р техн. наук, проф., Україна)
КОЛОМІЙЦЕВ Олексій Володимирович
(д-р техн. наук, с.н.с., Україна)
КОНОНОВ Олексій Анатолійович
(д-р техн. наук, доцент, Україна)
КОРОСТІЛЬ Юрій-Юстин Серафимович
(д-р техн. наук, проф., Польща)
МАШКОВ Віктор Альбертович
(д-р техн. наук, проф., Чехія)
ПАШКОВ Дмитро Павлович
(д-р техн. наук, проф., Україна)
ПОПОВ Олексій Михайлович
(д-р техн. наук, проф., Україна)
П'ЯСКОВСЬКИЙ Дмитро Володимирович
(канд. техн. наук, с.н.с., Україна)
СТАНКЕВИЧ Сергій Арсенійович
(д-р техн. наук, доцент, Україна)
САВАНЕВИЧ Вадим Євгенович
(д-р техн. наук, проф., Україна)
ТУПКАЛО Віталій Миколайович
(д-р техн. наук, проф., Україна)

Відповідальний секретар:

МАМАРСВ Віктор Миколайович
(канд. техн. наук, Україна)

Технічний секретар:

МАМАРСВ Віктор Миколайович
(канд. техн. наук, Україна)

EDITORIAL BOARD:**Editor-in-Chief:**

PRYSYAZHNYI Volodymyr
(Ph.D., Senior Res., Ukraine)

Associate editor:

MOSOV Serhii
(Dr. Sc. (Mil.), Prof., Ukraine)
MASHKOV Oleh
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Ukraine)

Editorial board members:

AZARSKOV Valerii
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Ukraine)
BARANOV Heorhii
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Ukraine)
BOHOMYA Volodymyr
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Ukraine)
BUTKO Ihor
(Ph.D., Ukraine)
VASHCHENKO Volodymyr
(Dr. Sc. (Ph-Math.), Senior Res., Ukraine)
VOLOSHYN Viacheslav
(Ph.D., Ukraine)
DRANOVSKYY Volodymyr
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Ukraine)
ILYIN Oleh
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Ukraine)
ILYUSHKO Viktor
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Ukraine)
KOLOMIYTSEV Oleksii
(Dr. Sc. (Tech.), Senior Res., Ukraine)
KONONOV Oleksii
(Dr. Sc. (Tech.), Assoc. Prof., Ukraine)
KOROSTIL Yurii-Yustyn
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Poland)
MASHKOV Viktor
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Czech Republic)
PASHKOV Dmytro
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Ukraine)
POPOV Oleksii
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Ukraine)
PYASKOVSKYY Dmytro
(Ph.D., Senior Res., Ukraine)
STANKEVYCH Serhii
(Dr. Sc. (Tech.), Assoc. Prof., Ukraine)
SAVANEVYCH Vadym
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Ukraine)
TUPKALO Vitalii
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Ukraine)

Responsible secretary:

MAMAREV Viktor
(Ph.D., Ukraine)

Technical secretary:

MAMAREV Viktor
(Ph.D., Ukraine)

ЗМІСТ

ВИКОРИСТАННЯ АЕРОКОСМІЧНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

- Баранов Г. Л., Комісаренко О. С.**
Методологічні основи моделювання процесів
формотворення інноваційних матеріалів
аерокосмічної технології..... 5
- Mashkov O. A., Mashkov V. A.,
Kosenko V. R.**
On the issue of constructing an environmental
monitoring system using a network approach..... 12
- Пашков Д. П., Шевченко Р. Ю.**
Використання багатоспектральних зображень
в екологічному моніторингу для визначення
антропогенного впливу 18
- Епишев В. П., Мотрунич І. І., Найбауер І. Ф.,
Кудак В. І., Периг В. Н., Москаленко С. С.,
Сухов П. П., Сухов К. П.**
Идентификация космических объектов по
результатам фотометрических измерений..... 26

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ

- Гриб Д. А., Костенко І. Л., Воронов Д. Н.**
Вопросы защиты канала управления
беспилотными летательными аппаратами
отечественного производства..... 34
- Коломійцев О. В., Кулагін К. К.,
Мегельбей В. В., Нос І. А., Філіппенков О. В.**
Багатопараметрична однопунктна система
зовнішньо-траєкторних вимірювань ракет-носіїв
космічних апаратів..... 37
- Добровольский Д. В.**
Признак недостоверности индикаторной скорости
полета..... 43

СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
ТА ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

- Кожухов О. М.**
Оптимальный алгоритм ruchu телескопу при
пошукових спостереженнях малих тіл сонячної
системи..... 48
- Ларьков С. М., Пахольченко А. Н.,
Сергиенко А. И. Добровольский Д. В.**
Идентификация аэродинамических
характеристик самолета-носителя штатными
средствами объективного контроля..... 53

TABLE OF CONTENTS

USE OF AEROSPACE TECHNOLOGY

- Baranov G. L., Komissarenko O. S.**
Methodological basis of simulation of processes of
forming of innovative materials of aerospace
technology..... 5
- Mashkov O. A., Mashkov V. A.,
Kosenko V. R.**
On the issue of constructing an environmental
monitoring system using a network approach..... 12
- Pashkov D. P., Shevchenko R. Yu.**
Use of multispectral images in environmental
monitoring to determine anthropogenic impact.... 18
- Epishev V. P., Motrunich I. I., Kudak V. I.,
Perig V. N., Moskalenko S. S., Sukhov P. P.
Sukhov K. P.**
Identification of space objects according to their
photometric features..... 26

CONTROL SYSTEMS AND INFORMATION
TECHNOLOGY

- Gryb D. A., Kostenko. I. L., Voronov D. M.**
Questions for protection of the control channel of
unmanned aircraft of domestic
production..... 34
- Kolomiitsev O. V., Kulagin K. K.,
Megelbey V. V., Nos I. A., Filippenkov O. V.**
Multiparametric one-point external tracking system
of spacecraft launch vehicles..... 37
- Dobrovolsky D. V.**
Sign of indicator airspeed invalidation..... 43

NAVIGATION, TELECOMMUNICATION AND
EARTH REMOTE SENSING SYSTEMS

- Kozhukhov O. M.**
Optimum algorithm for the motion of the telescope
in the search observations of small bodies of the
solar system..... 48
- Larkov S. M., Pakholchenko A. N.,
Sergienko A. I., Dobrovolsky D. V.**
Identification of the aerodynamic characteristics of
the carrier aircraft by objective controls..... 53

НАЗЕМНІ СИСТЕМИ, ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНІ КОМПЛЕКСИ

Машков О. А., Мамчур Ю. В.

Аналитическая оценка качества процесса управления на тренажерах дистанционно пилотируемого летательного аппарата с алгоритмом на основе решения обратных задач динамики 58

Кавац В. В., Капустин Е. И., Литвинова Н. А., Литвишко Т. Н.

Разработка программного комплекса «имитатор наземной станции (НС) СКТРЛ»..... 62

Жукаускас С. В., Сметанін К. В.

Системы мобильного экологического мониторинга обращения с опасными отходами с использованием беспилотных летательных аппаратов 65

Стрюков А. С.

Механізми врахування інформаційного впливу при прийнятті управлінських рішень..... 76

ONGROUND SYSTEMS, SPACECRAFTS AND ROCKET-SPACE SYSTEMS

Mashkov O. A., Mamchur Yu. V.

Analytical estimation of the quality of the control process on the simulators of a remote pilot airplane with algorithm based on the solution of the reverse dynamics problems..... 58

Kavats V. V., Kapustin Y. I., Litvinova N. A., Litvishko T. N.

Development of the software complex "imitator of ground station (GS) SCTRL"..... 62

Zhukaskas S.V., Smetanin K.V.

Systems of mobile environmental monitoring of handling with dangerous waste with the use of unmanned aerial vehicles..... 65

Striukov A. S.

Mechanisms of incorporation information influence in management decisions..... 76

ВИКОРИСТАННЯ АЕРОКОСМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

УДК 004.942:007:004

Баранов Г.Л., Комісаренко О.С.

Національний транспортний університет

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМОТВОРЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ АЕРОКОСМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Предметом дослідження є формалізація методологічних основ моделювання процесів формотворення інноваційних матеріалів за вимогами майбутніх аерокосмічних технологій. Тема конструктивної обізнаності та інформаційно-аналітичного забезпечення необхідного для розв'язків складних динамічних задач в умовах ризиків та природної невизначеності пов'язана з потребами підвищення достовірності прогнозів функціонування космічних місій на базі раціональних аерокосмічних технологій. Метою проведеного дослідження є визначення методологічного базису комплексного моделювання процесів формотворення майбутніх конструктивних композиційних матеріалів (ККМ) для роботи у гетерогенних космічних умовах багато аспектного впливу оточуючого середовища. Метод системного аналізу задачних систем спрямований на формалізацію методологічної основи моделювання процесів функціонування складних динамічних систем за кроками синергетичних трансформацій та перетворень атомно-молекулярної структури композиційних складових у цільову речовину в процесах керованих технологій інноваційного формотворення ККМ.

Результатом роботи є процедури алгебраїзації математичних описів типових фізичних процесів у гетерогенних формах реалізації багатокрокових технологій формотворення ККМ з прогнозними властивостями. Висновки характеризують область застосування майбутніх матеріалів авіаційно-космічних технологій за потреби ноосфери, що еволюціонує та змінюється.

Ключові слова: аерокосмічні комплекси, композиційні матеріали, майбутні технології, моделювання, прогнозування, випробування.

Вступ. Конструктивні композиційні матеріали (ККМ) для аеро-космічних технологій (АКТ) розрізняються за цільовими призначенням об'єктів [1]. Моделювання об'єктів аерокосмічних комплексів передбачає повне врахування об'єктивних природних впливів факторів зовнішнього навколишнього оточуючого середовища (ЗНОС) на носії цільових інженерних споруд [2] з різноманітних матеріалів, які знаходяться (вимірювальні та інформаційні прилади; засоби зв'язку та телекомунікації; двигуни та силові органи управління; елементи конструкцій та корпуси й кабіни; засоби штучного інтелекту та реалізації рішень у нестационарному ЗНОС) у космічному просторі. Але в умовах космосу первинні інтегровані фактори впливу ЗНОС на самі ККМ мають подібні закономірності прояву гетерогенних полів на функціональну стійкість визначальної атомно-молекулярної структури речовини. У конкретному просторово-часовому континуумі (ПЧК) з ККМ в якості робочого елемента виникають явища, що характеризують взаємодію складної динамічної системи (СДС) з впливовими факторами ЗНОС [2]. Поняття механізмів взаємодії між СДС та ЗНОС, а також інтегрованої функціональності (довговічності, живучості, надійності), формує синергетичну обізнаність конструкторів-фахівців АКТ.

Постановка проблеми. Подальший розвиток АКТ та ефективність реалізації пріоритетних програм у космічному просторі вимагає зняття

ризиків й невизначеності впливів ЗНОС. Фундаментальні випробування техніко-технологічних рішень (ТТР) стосовно майбутніх ККМ найбільш ефективні на принципах комплексного моделювання СДС в режимах експлуатації АКТ. За даним принципом відбувається інтеграція практичного досвіду (фактологічні ТТР) космічних місій, що вже відбулись завдяки зусиллям розвинених країн світу, та теоретичного узагальнення (футурологічного випередження) конструктивних задач та результатів, що вже оцінені шляхом моделювання. Результуюча обізнаність інтелектуальних агентів системи (науково-технічної спільноти ракетно-космічної галузі) зростає за рахунок інформаційних технологій та автоматизованих систем інженерного документообігу (АСІД) в умовах глобалізації Internet.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Засоби моделювання динаміки функціонування об'єктів АКТ забезпечують [2-5] прискорення досліджень та скорочення витрат на отримання нових знань для впровадження ККМ, що будуть працювати в умовах природного космосу. Значна складність об'єктів АКТ та ракетно-космічної техніки ускладнює випробування життєздатності нових елементів у динамічних умовах гетерогенного ЗНОС. Унікальність майбутніх космічних програм [1] обумовлює повноту врахування факторів впливу космосу на атомно-молекулярні структури матеріалів, що

функціонують за вимогами АКТ, які відображають конструктивні моделі, методи та засоби моделювання [2-5] об'єктів АКТ.

Постановка завдання. Мета роботи полягає у формалізації базових методологічних основ моделювання процесів наноструктурного формотворення майбутніх інноваційних матеріалів для АКТ.

Завдання гарантованого забезпечення безпеки, якості та ефективності тривалого функціонування ККМ вимагають адекватного повномасштабного відображення об'єктів СДС в засобах комплексного моделювання задачних систем за потреб практичного досвіду експлуатації АКТ.

Основний матеріал дослідження. Моделювання об'єктів АКТ, передбачає нові фізичні явища аерокосмічних технологій. Описи ще неформалізованих закономірностей побудови новітніх конструктивних керамічних матеріалів (ККМ) для майбутніх технологій базуються на традиційних наукових парадигмах [2]. Вони передбачають знання та необхідність розв'язання наступних задач.

1. Обґрунтувати сутність нових станів і взаємодію між складовими компонентами (фулеренів, силіконів та інших композитів атомів, молекул) [6] з хімічних елементів цілісного ККМ в умовах чітко визначених параметрів ЗНОС.

2. Визначити особливі головні фундаментальні параметри, межі їх змін та одиниці вимірів станів, включаючи перехідні процеси та явища формотворення під впливом прикордонного шару впливу сформованого ЗНОС.

3. Сформувати нові закономірності стосовно знання специфіки цільового формотворення структури тіла ККМ та процесів управління його складовими компонентами за рахунок активів взаємодії для керованого впливу енергетичних факторів синтезованого механізму технологічних засобів на природне застосування ресурсу ЗНОС.

Наукова парадигма складного динамічного стану базується на аксіомі 1 про неможливості цільового бажаного майбутнього формотворення структури ККМ без витрат (необхідної кількості, достатнього виду, організованої специфіки потоків енергії) з урахуванням активів дії інтерфейсного технологічно керованого ЗНОС.

Сутність *першої задачі* отримуємо як **наслідок** з даної аксіомі 1. Чисельні факти та розвиток науки і техніки [1], підтверджують необхідність цілеспрямованого конструктивного синтезу механізмів енерго-перетворень для потрібного за сутністю, особливостями і специфіки (СОС) управління енерго-трансформаційними потоками у обмеженому ПЧК. Цикл охоплює всі фази від початкових звичайних (нормальних, штатних, експлуатаційних) станів до цільових (стільки скільки треба для активації, взаємодії у специфічному стані природного парного

взаємоперетворення {енергія ↔ матерія}) результуючих параметрів інноваційного ККМ.

Друга задача вимагає визначених конкретних ефективних форм особливих головних параметрів: конструкції як матеріальної субстанції екстремальної установки; матеріальних компонентів для хімічних реакцій взаємоперетворення у цільових ККМ; особливі системотворчі відношення між компонентами (відсоткові пропорції, щільності, концентрації, сили проникнення, точність, похибки та ін.) [3,6].

Найбільш складна, трудомістка й невизначена *третьа задача* управління процесами формотворення та самоорганізації нової структури цільової СДС з результуючим ККМ. Обов'язково треба виявити, описати та верифікувати специфіку покрокових й почергових трансформацій. У ПЧК СДС відбуваються взаємоперетворення кожної проміжної форми носія {енергія↔матерія} до фази досягнення стабільного ефективного стану твердого тіла ККМ з вимогами практики АКТ.

Таким чином наше дослідження для синтезу ККМ конструктивне лише за умов чіткого однозначного визначення складових СДС: початкові хімічні субстанції вхідних речовин-реагентів як дискретні учасники енергоперетворень; засіб – технологічна установка з обмеженим ПЧК, де означені хімічні речовини починають відчувати керований вплив концентрованих енергетичних факторів ЗНОС безпосередньо у зоні підвищених реакційних подій (ЗПРП); інтерфейсні техніко-технологічні засоби (вимірювання, контролю, діагностики, прийняття оперативних рішень за результатами оперативної обробки даних експерименту, а також оперативного цільового почергового управління).

Означена методологія з трьох головних підсистем СДС формує конструктивну основу реальних гетерогенних дій та взаємодій у ЗПРП керованого ПЧК. Головна увага приділяється під час якісних динамічних перетворень з новою структурою ККМ до визначення та фіксування аналітичних умов існування результативної трубки керованих поетапних структурно-енергетичних пофазних формотворень на кожному кроці синтезу ККМ [3, 6].

Запропонуємо фіксувати результативні умови на межі (дозволені, ефективні, цільові процеси) існування трубки відображення ψ багатозначної функції виду [4, 5, 7]

$$\psi_{\varepsilon} : [a - \varepsilon, b + \varepsilon] \rightarrow \text{comp}(R^n), \quad (1)$$

де R^n – n вимірний евклідов простір;

$\text{comp}(R^n)$ – множина не порожніх компонентів з $\mathbb{R}^n$;

$\psi : [a, b] \rightarrow \text{comp}(R^n)$ – неперервне зверху

відображення на відрізьку $[a, b]$;

$\psi_\varepsilon, \forall \varepsilon \in (0, \varepsilon^*)$ – це неперервне стаціонарне Ψ з асимптотикою Ψ^* продовження ψ відображення інтервальних змін.

Збереження агрегатної цілісності у ПЧК відносно розширення актів дії визначеної умови

$$\psi_\varepsilon(U) = \begin{cases} \Psi(U), \text{ якщо } U \in [a, b], \\ \Psi(a), \text{ якщо } U \in [a - \varepsilon, a], \forall \varepsilon \in (0, \varepsilon^*), \varepsilon^* > 0, \\ \Psi(b), \text{ якщо } U \in [b, b + \varepsilon]. \end{cases} \quad (2)$$

Знання конструктивно-параметризованого інтервального управління (ε -окіл) стосовно розширення та звуження процесної енергетично-матеріальної цілісності дозволяє показувати умови часової неперервності у ПЧК й одночасно просторової реакційної особливості СОС з концентрацією на ЗППП [3].

Розбіжність за часовим виміром не повинна перевищувати значення дискрет

$$\square Clock_h = Clock_H - Clock_{H-1}, \quad (3)$$

$$1 - h \leq \frac{dC(t)}{dt} \leq 1 + h, \quad (4)$$

Де параметр h визначає максимальну розбіжність зсуву між часом процесу взаємодії у ЗППП для відповідно двох точок просторового виміру швидкісних явищ між атомних або міжмолекулярних реакційних перетворень.

Вхідний потік енергії впливу ЗНОС на ЗППП може відбуватись лише шляхом транспортування від генеруючого джерела через площину (корпус ЗППП) всередину об'єму, де складові речовини компонент можуть рухатись зі зміною початкової структури та форми [3,6].

Зовнішня енергія генеруючого джерела має гетерогенно різну фізичну природу: електромагнітні хвилі випромінювання; електричний струм різної частоти впливу; механічний тиск зі зміщенням просторових позицій ЗППП; хімічні реакції з поглинанням чи генеруванням додаткової енергії; теплові явища у залежності від неоднорідностей об'єму ЗППП; різноманітні форми випромінювання для проникнення та активації дій формотворення ККМ у ЗППП.

За рахунок конструктивних жорстких (критерії безпеки, надійності, стабільності) обмежень у n -вимірному реакційному просторі ЗППП можуть відбуватись наслідкові рухи електронів, атомів й молекул у вигляді: зсувних лінійних переміщень; коливальних та обертових траєкторій навколо локальних центрів синергетичної взаємодії внутрішніх активованих субстанцій зі зовнішніми енергетичними полями керованого комбінованого гетерогенного впливу. Реакційні обміни енергіями відображують часову неперервність трансформації структурних змін та

одночасно просторову локальну квазірівномірність фрактальної подібності формоутворюючих зв'язків у хімічній системі з учасниками – реагентами [7,8].

Енергетичні взаємозалежні взаємодії під час формотворення структури ККМ за сутністю їх прояву мають три етапи: *початковий* для всіх учасників СДС; *перехідний* з різноманітними специфічними проявами зовнішніх та внутрішніх динамічних причинно-наслідкових процесів; *заключний* або кінцевий з різними процедурами зняття суттєвого впливу факторів ЗНОС. Лише тоді для передачі синтезованого ККМ споживачам відбувається набуття параметрами значень експлуатаційного середовища. Всі три етапи методологічних основ синтезу майбутніх ККМ важливі. Однак найбільш інноваційним є саме другий етап, на якому визначаються комплексні умови енергоефективності, окупності та прибутковості керованого енергопотуку для отримання бажаних властивостей ККМ з новими якостями. Компромісний розв'язок даного етапу формулюємо у вигляді принципу мінімаксу [2, 4, 5, 7]:

$$\min \max I_{KKM}, \quad (5)$$

$$\text{ext}E(t)(K \dots K),$$

де $\min(\text{ext}E)$ – означає критерій мінімальних витрат зовнішніх (ext) екстремальних ресурсів $E(t) < Em$, що обмежені;

$\max I_{KKM}(K_1 \dots K_n)$ – означає інтегрований багатогаспектний критерій якості, ефективності, прибутковості, як форми їх можливих прагматичних управлінь для отримання кінцевого продукту ККМ.

Засоби гарантовано-адаптивного управління (ГАУ) за цих умов забезпечують наслідок одночасної багатоагентної реалізації K_p покрокових, почергових актів дії у межах ЗППП, де відбуваються взаємодії та взаємозалежні реагування, що необхідні для синтезу ККМ [3,6].

Математична форма диференціальної гри (5) для даного дослідження дозволяє фізику експериментатору, як особливому гравцю ГАУ мінімізувати витрати всіх видів [8] зовнішніх енергетичних ресурсів. Якщо {обрати для кожного кроку відповідні управління та їх означені фактори впливу задати адекватно критеріям якості}, тоді {отримаємо також конструктивне обмеження зверху}

$$|U_1(K_1)| \leq U_{1m}, |U_2(K_2)| \leq U_{2m}, \dots, |U_n(K_n)| \leq U_{nm}, \quad (6)$$

де U_{1m}, U_{2m}, U_{nm} – управління кожного учасника ЗНОС на реагування внутрішнього ГАУ формотворенням ККМ згідно визначеному

максимальному інтеграційному акту відповідного впливу у конструктивному вигляді [2, 4, 7], що зафіксовано в АСІД.

Комп'ютерні технології розв'язку диференціально-ігрових задач [4, 5] на спеціалізованих моделях у вигляді графу-решітки, покриває усе фазове поле проміжних станів, включаючи початковий та заключний, були запропоновані для інших сфер практики [5].

Кожна нова сфера практики потребує за нових умов задачі повторити методологічно запропоновані принципи її структуризації та сформувати граф-решітку відповідного фазового простору для моделюючих зв'язаних зав'язків (ребер графа). Потім застосовується відомий тривіальний метод знаходження на отриманій зв'язаній решітці найкоротший шлях між заданими початковими та кінцевими станами СДС [4].

Варіант їх з'єднання за принципом мінімуму, коли кожна ділянка решітки (варіаційне ребро) з'єднує лише локальну пару сусідніх проміжних станів формотворення за вимогою максимізації впливу всіх інших (N-1) гравців (5) фіксує конструктивний розв'язок раціонального синтезу ККМ з гарантованим інтегральним багатоаспектним критерієм розгорнутого диференціального оцінювання часткових показників досягнутого ефекту [2].

Конструктивний інтегрований результат обумовлений принципами суперпозиції фізичних гетерогенних процесів, у яких єдиною спільною рисою є еквівалентність оцінок енергії E_s та відповідної кількості маси m носія S у околі ПЧК, де відбуваються реакційні формо зміни початкових станів у кінцеві стани результуючих продуктів ККМ. Еквіваленти різних форм суто енергетичних процесів (електромагнітних хвильових; електромагнітних зарядових; механічних рухів носія; теплофізичних (передачі, випромінювання, проникнення, дифузії, конвекції, дисипації та ін.) полів; гетерогенних полів іншої природи (гравітації, активації кумулятивних явищ, ядерних, квантових, енергообмінів при взаємодіях елементарних частинок тощо), а також хімічних та біологічних реакцій дозволяють у кожному конкретному випадку синтезу ККМ оцінювати результуючу енергоефективність [8] комплексних явищ для кожного апробованого варіанту досягнення цільових результатів для АКТ.

Відомо, що особливо для хімічних та біологічних реакцій існують багатофазні ланцюгові перетворення з однаковим результатом у вигляді субстанції речовини. Однак у той же час в залежності від кількості фаз перетворень оцінки за критерієм енергоефективності будуть суто різні. Багатоаспектний результат дозволяє сформувати наступну аксіому 2 про природну (Всесвіт) енергетичну незалежність у

необмеженому ЗНОС за умов зняття в агрегатах просторово-часові обмеження для ЗППП.

Наслідок з цієї аксіоми 2 полягає у формуванні СОС критеріїв практичної ефективності застосування обраного варіанту синтезу ККМ з пріоритетним упорядкуванням обмежень на наявні ресурси. Задані параметри будуть визначати обмеження зверху $U_i(K_i) \leq U_{im}$ аналогічно (6) $\forall i = \overline{1, n}$ для стратегій управління засобами ГАУ процесами синтезу ККМ. Конкретне техніко-технологічне обладнання в умовах заданих обмежень часових, просторових, масових, організаційних ресурсів у наслідок оцінювання даного проекту за критерієм (5) визначить необхідні витрати енергії, інформації, фінансів [8] для реального отримання цільового продукту ККМ в майбутніх АКТ.

Зміни енергетичних станів, включаючи позиціонування об'єкта в просторі, обов'язково породжує коливання відносно умовно-стабільного усередненого стану. Єдине фізичне явище передбачає існування: генератора причин зміни енергетичних станів об'єкта; субстанції носія властивостей об'єкта які можуть змінюватись – варіюватись; середовища для забезпечення причинно-наслідкових умов взаємодії між силовим спонуканням до змін від генератора та адекватним відповідно цим вимогам реакціям у ЗППП. Кількість інтегрованої (гетерогенної) енергії в одиниці об'єму ЗППП, яку генерує генератор ЗНОС, є єдиним параметром для оцінок енергетичного стану у локальному ПЧК. Експериментатор може змінювати заданий спільний окіл взаємодії одночасно у часі та просторі. У загальний ПЧК декількох учасників взаємодії та форм енергетичних перетворень з власними частковими вкладеними ієрархічно компонентами повинен відбутися поява цільової структури ККМ відповідно СОС взаємодій за умов АКТ.

Якщо під силовим впливом генератора у конкретному просторі виникла певна концентрація P , тоді у доповненні до початкового об'єму q за умов $p+q=1$ виникає відповідне зменшення ЗППП. Нормування кожної частинки ПЧК дозволяє контролювати стабільність процесів функціонування СДС [8].

Аксіоматичне твердження 3. «Про неможливість існування абсолютно однакових фізичних твердих тіл» підтверджена чисельними факторами застосування відомих ККМ. Сутність даної аксіоми 3 полягає у природному різноманітті фізичних явищ, морфологічних формотворень варіативної СОС властивостей та відношень на кількісному й якісному рівнях кожної конкретної взаємодії у ситуативному але широкому спектрі енергій. Варіативність контактного об'єму, поверхонь та лінійного вектору проникнення від джерела енергії у меншій локальній ПЧК породжує там відповідну неоднаковість, неоднорідність, нерівномірність

активованої таким чином реакції за схемою (кількісна причина породжує відповідну морфологію та наслідкову якість носія даного явища) застосування об'єктів АКТ.

Наслідок 3 за даної аксіоми 3 пояснює різноманіття конкретних речовин у фіксованих формальних класах (наприклад: кристалів, сплавів, композитів) існування фізичних твердих тіл. Однаковість за хімічним складом атомів й молекул, а також за хімічною спорідненістю їх відповідно причинам факторів енергетичного силового впливу нестационарного ЗНОС не породжує однакові структури, морфологію, форму. А навпаки створює різноманітні: просторові композиції, неоднорідні решітки, гібридні комплексні форми, пошарові включення проникнень значно менших за розмірами складових компонент ККМ проміжних фаз реагування цілісної СДС [3, 6].

Для гарантованого управління потоками наявної енергії, маси, субстанції слід згадати про

аксіому 4 стосовно «неможливості зникнення природних ресурсів у фіксованому обмеженому ПЧК» (наприклад у техніко-технологічному агрегаті, механізмі, засобу). Навпаки у формах варіативних станів взаємодії реагуючих компонент СДС можливо лише змінювання (від min (int) до max (ext)) цільових параметрів.

Наслідок 3 за даної аксіоми 4 безпосередньо відображає фізику формотворення. Ці процеси можуть бути у багатьох значних формах: злічених множин, неперервності збіжних процесів, скінченності покриття, дуальності віддільного стану фундаментальних складових гетерогенної природи СДС [7].

Визначені чотири наслідки цілеспрямовують сферу застосування АСІД АКТ для майбутнього формотворення ККМ шляхом моделювання та покрокового (табл.1) розв'язання складних задач необхідних транспортній галузі у космічному ПЧК.

Таблиця 1.

Сфера застосування ІТ для майбутнього формотворення ККМ

Задача кроків моделювання	Визначальні процедури для формотворення ККМ		
	Вхідна речовина	Молекулярні композити	Конструктивні комплектуючі
Побудова моделі	Розрахунок параметру	Розрахунок еквівалентних характеристик	Еквівалентування мережних несучих
Планування	Прогнозування параметру ресурсів	Режим роботи ланцюгових каскадів	Почерговість виводу зміни відновлення та капремонт
Розрахунковий аналіз	Стійкість навантаження	Надійність, стійкість, перехідні процеси	Експлуатаційний режим збурення, стійкість
Оптимізація	Рівень глобальних навантажень	Розподіл ресурсів	Втрати міцності під час напрацювання на відмову
Оцінка роботи деталі та матеріалу	Комплексний вузол навантаження	Запас стійкості	Режим критичних зон
Прийняття рішення	Вибір актів дії	Вирішення наступних ресурсних заявок	Вибір параметрів під час експлуатації
Формування результату	Тестові документи АСІД	Системи відображення інформації	Графічні характеристики якості ККМ

Означені форми тривалого у ПЧК техніко-технологічного синтезу цільових ККМ однозначно закріплюють суто конструктивні реальні обмеження на первинні ресурси. Для самого фізичного пристрою, що має розміри власного ПЧК та відповідні фіксовані геометричні складові, функціональні можливості обмежують продуктивну сферу реалізовувати фізичні перетворення [8].

Параметризація процесів насамперед стосується фундаментальних TESIMFO [8] понять-категорій: T-time – час існування тривалості відповідних подій та реакцій; E-energy – фізичні процеси, що характеризують різноманіття форм параметризованих процесів динаміки: механічних поступальних,

обертальних, хвильових; електромагнітних хвильових, зарядових, польових-об'ємних; теплових-теплопровідності, передачі-проникнення, концентрації випромінювання – дисипації поглинання; частинок синергетичних СДС, елементарного фундаментально нано та мікро міра з власними E носіями; S-substance – матерія просторової віддільності окремих декількох об'єктів фізичної взаємодії у єдиному локальному ПЧК; I-information – інформаційні процеси відповідних інтелектуальних технологій; M-material – масової кількості у локальному ПЧК з відділеними об'єктами відповідних грам-молекул, що дозволяють підрахувати об'ємні витрати та градієнтні форми відповідного проникнення у матеріал кінцевого стану дії

реакційних перетворень; F-finances – фінансові процеси взаєморозрахунків за ринкових форм обмінів продуктами (товарами і послугами); O-organization – організована групова взаємодія у межах спільних прискорень та змін локальних позицій околів об'ємної цільності учасників (електронів, ядер, атомів, молекул, наночастинок та інших морфологічних складових), що в околі мають параметри приналежності даному явищу АКТ [8-13], які зафіксовано в АСІД.

Ці TESIMFO поняття застосовуємо для статистики, кінематики та динаміки у межах локального околу з заданою системою координат. Вони у задачах космічних досліджень характеризують відповідні об'єктивні рухи, зміни, трансформації, реакційні перетворення, доцільні для обґрунтованої АКТ.

Висновки. Алгебраїзація математичного опису відомих фізичних процесів та їх множинної взаємодії у гетерогенних формах доводить до існування системо утворюючих множин.

Математичні моделі та методи поділяють алгебраїчне замикання на види замкненості: абсолютна, слабка, геометрична, топологічна. Для кожного виду можливі форми замикання: множини, оператори, околи. Параметризація конкретних видів і форм, наприклад, околу може бути: опукле, лінійне, занумероване (закодоване), зі зміною параметру чи загостренням (зверху чи знизу) закону функціонування об'єкту АКТ.

Фізичні поля підсилюють в ЗПРП динамічні процеси, які інтенсифікують хімічну активність речовин. Це обумовлює побудову нових структур та подальше проникнення на певні відстані від місця зародження нових зв'язків. Фізичні поля займають значно більший об'єм ЗНОС й тому у ЗПРП нові речовини з початкових компонентів швидко перетворюються. Спільна дія декількох гетерогенних полів створює умови для кумулятивних реакцій з загостренням дії внутрішніх речовинно-енергетичних ресурсів в процесах синтезу ККМ для АКТ.

Список літератури

1. Кабінет Міністрів України «Про схвалення концепції реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 р.». Від 30 березня 2011р. №238/р.
2. Баранов Г.Л. Конструктивне моделювання об'єктів авіаційно-космічних технологій за парадигмою диференціальної гри / Г.Л. Баранов, О.М. Прохоренко // Аерокосмічні технології. НТЖ. Вип.1(1)-Київ, НЦУ та ВКЗ. 2017. – с.23-32.
3. Канюков Е.Ю. Низкотемпературные сенсоры магнитного поля на основе структур N-Si / SiO₂(N1) для аппаратуры бортового применения / Е.Ю. Канюков, С.Е. Демьянов // Аерокосмічні технології. НТЖ.Вип.1(1).-Київ.НЦУ та ВКЗ, 2017. с.76-84.
4. Васильев В.В., Баранов В.Л. Метод моделирования дифференциальных игр на параллельных вычислительных структурах // Электрон. Моделирование. – 1987. – 9. №3. – С. 12-16.
5. Оуэн Г. Теория игр. – М.: Мир, 1971. – 230 с.
6. Комисаренко О.С., Хімічна інженерія побудови ККМ системи В₄C-Hf // Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2017» (19-21 квітня 2017року). – К: НАУ, 2017. – С.1746
7. Баранов Г.Л., Макаров А.В., Структурное моделирование сложных динамических систем. – Киев: Наук. Думка, 1986. – 272с.
8. Баранов Г.Л. Формування основ метризації ресурсних знань поліергетичних технологій / Г.Л. Баранов, О.М. Прохоренко // Розбудова економічної освіти та формування основ фінансової грамотності учнівської молоді – основа – К.: Ін-т обдарованої дитини НАПН України, 2017. – С. 26-32.
9. Даламбер Ж. Динамика / Ж. Даламбер, - М.: Госиздат, 1950. – 360с.
10. Лангранж Ж. Аналитическая механика / Ж. Лангранж. – Изд 2-е – М.: 1950. – ТІ. – 640с.
11. Эйлер Л. Метод нахождения кривых линий обладающих свойствами максимума либо минимума и решение изопериметрической задачи / Л. Эйлер. – М. Гостехиздат. 1934. – 540с.
12. Павловский М.А. Теоретична механіка / М.А. Павловський. – К.: Техніка. 2002. – 512с.
13. Ракушев М.Ю. Прогнозування руху космічних апаратів на основі диференціально-тейлорівських перетворень: Монографія / М.Ю. Ракушев. – Ж.: Видавець О.О. Євенок. 2015. – 324с.

References

1. Kabinet Ministriv Ukrainy` «Pro sxvalennya koncepciyi realizaciyi derzhavnoyi polity`ky` u sferi kosmichnoyi diyal`nosti na period do 2032 r.». Vid 30 bereznia 2011r. #238/r.
2. Baranov G.L. Konstrukty`vne modelyuvannya ob`yektiv aviacijno-kosmichny`x tehnologij za parady`gmyu dy`ferencial`noyi gry` / G.L. Baranov, O.M. Proxorenko // Aerokosmichni tehnologiyi. NTZh. Vy`p.1(1)-Ky`yiv, NCzU ta VKZ. 2017. – s.23-32.
3. Kanyukov E.Yu. Nizkotemperaturnyye sensoryi magnitnogo polya na osnove struktur N-Si / SiO₂(N1) dlya apparatury bortovogo primeneniya / E.Yu. Kanyukov, S.E. Demyanov // AerokosmIchnI tehnologIYi. NTZh.Vip.1(1).-KiYiv.NTsU ta VKZ, 2017. s.76-84.
4. Vasilev V.V., Baranov V.L. Metod modelirovaniya differentsialnyih igr na parallelnyih vyichislitelnyih strukturah // Elektron. Modelirovanie. – 1987. – 9. #3. – S. 12-16.
5. Ouen G. Teoriya igr. – M.: Mir, 1971. – 230 s.
6. Komisarenko O.S., Ximichna inzheneriya pobudovy` KKM sy`stemy` B<sub>4</sub>C-Hf // Materialy` XIII Mizhnarodnoyi naukovotekhnichnoyi konferenciyi «Avia-2017» (19-21 kvitnya 2017roku). – K: NAU, 2017. – S.1746
7. Baranov G.L., Makarov A.V., Strukturnoe modelirovanie slozhnyih dinamicheskikh sistem. – Kiev: Nauk. Dumka, 1986. – 272s.

8. Baranov G.L. *Formuvannya osnov metry`zacyi resursny`x znan` poliergaty`chny`x tehnologij* / G.L. Baranov, O.M. Proxorenko // *Rozbudova ekonomichnoyi osvity` ta formuvannya osnov finansovoyi gramotnosti uchniv`koyi molodi – osnova – K.: In-t obdarovanoyi dy`ty`ny` NAPN Ukrainy`*, 2017. – S. 26-32.

9. Dalamber Zh. *Dy`namy`ka* / Zh. Dalamber, - M.: Gosy`zdat, 1950. – 360s.

10. Langranzh Zh. *Analiticheskaya mehanika* / Zh. Langranzh. – Izd 2-e – M.: 1950. – TI. – 640s.

11. Eyler L. *Metod nahozhdeniya krivyih liniy obladayuschih svoystvami maksimuma libo minimuma i reshenie izoperimetricheskoy zadachi* / L. Eyler. – M. Gostehizdat. 1934. – 540s.

12. Pavlovsky`j M.A. *Teorety`chna mexanika* / M.A. Pavlovskiy`j. – K.: Tekhnika. 2002. – 512s.

13. Rakushev M.Yu. *Prognozuvannya ruxu kosmichny`x aparativ na osnovi dy`ferencial`no-tejlorivskiy`x peretvoren` Monografiya* / M.Yu. Rakushev. – Zh.: Vy`davec` O.O. Yevenok. 2015. – 324s.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Баранов Г. Л., Комисаренко О. С.

Предметом исследования является формализация методологических основ моделирования процессов формообразования инновационных материалов по требованиям будущих аэрокосмических технологий. Тема конструктивной осведомленности и информационно-аналитического обеспечения необходимого для решений сложных динамических задач в условиях рисков и природного неопределенности связана с потребностями повышения достоверности прогнозов функционирования космических миссий на базе рациональных аэрокосмических технологий. Целью проведенного исследования является определение методологического базиса комплексного моделирования процессов формообразования будущих конструктивных композиционных материалов (ККМ) для работы в гетерогенных космических условиях многоаспектной влияния окружающей среды. Метод системного анализа. Задачно систем направлен на формализацию методологической основы моделирования процессов функционирования сложных динамических систем с шагами синергетических трансформаций и преобразований атомно-молекулярной структуры композиционных составляющих в целевую вещество в процессах управляемых технологий инновационного формообразования ККМ.

Результатом работы является процедуры алгебраизации математических описаний типовых физических процессов в гетерогенных формах реализации многошаговых технологий формообразования ККМ с прогностическими свойствами. Выводы характеризуют область применения будущих материалов авиационно-космических технологий при необходимости ноосферы, что эволюционирует и меняется.

Ключевые слова: аэрокосмические комплексы, композиционные материалы, будущие технологии, моделирование, прогнозирование, испытания.

METHODOLOGICAL BASIS OF SIMULATION OF PROCESSES OF FORMING OF INNOVATIVE MATERIALS OF AEROSPACE TECHNOLOGY

Baranov G. L., Komissarenko O. S.

The subject the study is the formalization methodological foundations for the simulation the processes forming materials innovative materials on the requirements future aerospace technologies. The theme constructive awareness and informational and analytical support necessary for solving complex dynamic problems under conditions of risk and natural uncertainty is related to the need to increase the reliability of predictions of the operation space missions based on rational aerospace technologies. The purpose this research is to determine the methodological basis complex modeling forming processes of future constructive composite materials (CCM) for working in heterogeneous space conditions, many aspects the influence the environment. The method system analysis task systems is aimed at formalizing the methodological basis the simulation the processes functioning complex dynamic systems by steps synergetic transformations and transformations the atomic-molecular structure composite components into the target substance in the processes controlled technologies innovation formation of CCM.

The result the work is the algebraization procedures mathematical descriptions of typical physical processes in heterogeneous forms multi-stage technologies for forming CMC with prognostic properties. Conclusions characterize the scope of future materials aerospace technology, as needed, the evolving and changing noosphere.

Key words: aerospace complexes, composite materials, future technologies, modeling, forecasting, testing.

УДК: 378.1(045):504+373:033

Mashkov O. A.¹, Mashkov V. A.², Kosenko V. R.³¹ Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління Мінприроди України, Київ, Україна² University J. E. Purkyne, Czech Republic³ Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна

ON THE ISSUE OF CONSTRUCTING AN ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEM USING A NETWORK APPROACH

Sensor networks which are exploited for environment monitoring are very often negatively affected by surroundings. As a result, sensor nodes can often fail. The paper presents diagnosis technique based on mutual tests among sensor nodes. Such diagnosis is considered as system level self-diagnosis. Traditionally, system level self-diagnosis is used for detecting of permanently faulty nodes. In the paper, we consider the problems of intermittent fault detection and suggest diagnosis procedures which allow distinguishing between different types of intermittent faults. For each type of intermittent faults we developed diagnosis procedure.

Keywords: diagnosis, sensor networks, environment monitoring, environment

Problems of diagnosis of sensor networks applied for environment monitoring

Typical sensor network consists of great number of sensor nodes each of which consists of sensing, computing, communication, actuation, and power components [1]. These components are integrated on a single or multiple boards, and packaged in a few cubic inches. Sensor networks which can be applied for environment monitoring (e.g., wireless sensor networks) usually consist of tens to thousands of nodes that communicate through wireless channels for information sharing and cooperative processing. Communication among sensor nodes can be used for diagnosis purposes. In this paper, we are going to show how diagnosis of sensor network can be performed by using results of tests among sensor nodes.

Wireless sensor networks can be deployed on a global scale for environment monitoring and habitat study, over a battle field for military surveillance and reconnaissance, in emergent environments for search and rescue, in factories for condition based maintenance, in buildings for infrastructure health monitoring, in homes to realize smart homes, or even in bodies for patient monitoring [2].

Sensor networks which are used for environment monitoring have some specific features such as:

- autonomous functioning for a long time;
- working conditions can produce external faults for sensors;
- difficulties to provide centralized testing facilities and diagnosis;
- necessity in online testing;
- high requirements for fault-tolerance and survivability, etc.

In view of the listed above, the appropriate means and techniques for sensor network checking and diagnosis should be developed so as to satisfy the requirements of customer/ user of sensor network. In the paper, we propose network diagnosis based on the results of tests performed by sensor nodes (i.e.,

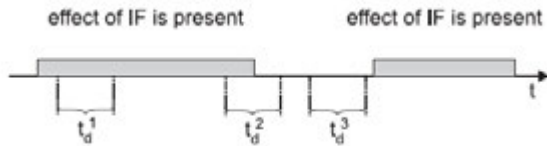
without external facilities). During diagnosis procedure sensor nodes test each other, and then all test results are used in diagnosis algorithm. Usually, such diagnosis was exploited to reveal permanently faulty components in complex systems. In view of the fact that sensor nodes are also susceptible to intermittent faults [3], direct implementation of diagnosis based on mutual tests in sensor networks may be complicated. In this paper, we investigate how diagnosis based on mutual tests can treat the situations when one or more sensor nodes have both permanent and intermittent faults.

Diagnosis of intermittent faults

Based on the current literature available on fault diagnosis in most of the sensor network consisting of great number of sensor nodes, many network components are subjected to intermittent faults as compared to any other kind of faults, such as permanent, transient and byzantine. Occurrence of intermittent faults may decrease the quality of service that a network delivers. In view of this, there have been performed a great number of researches on developing techniques for diagnosis of intermittent faults, modelling intermittent faults and designing detection experiments for them.

Intermittent faults can be defined as the faults whose presence is bounded in time. In other words, a unit can possess an intermittent fault but the effect of this fault is present only part of time.

For the diagnosis purposes the amount of time devoted to diagnosis procedure, t_d is very important. Depending on the amount of time t_d and on its position on the time axis (see Fig. 1), the same fault may be identified as a permanent fault (case of t_d^1) and as an intermittent fault (case of t_d^2). There is also probability that during the diagnosis procedure the effect of intermittent will not be present (case of t_d^3).

Fig. 1 – Intermittent fault in relation to the time t_d

There should be named some valuable works in the area of diagnosis of intermittent faults. Particularly, S. Kamal and V. Page in [4] considered the problem of how many times a digital circuit should be tested before the decision about its state is made. At the beginning of testing, the state of a unit is indefinite. The testing procedure (i.e., repetition of tests) is stopped either when the fault is detected or on the basis of a decision rule. The authors suggested some decision rules for termination of testing procedure with the result that a unit is fault-free. According to their research results, the intermittent fault present in the unit can affect the behavior of the unit only part of time. However, if the effect of the intermittent fault is present during the testing procedure, then such fault will be detected. Therefore, they describe the behavior of intermittent faults (particularly, the occurrence of their effects) with the help of the probability $P(S_i/\omega_i)$, where S_i denotes the state of the unit when it possesses intermittent fault ω_i and the effect of the fault is present.

Another approach to describing behavior of intermittent faults is presented in [5]. In this case, an intermittent fault has two states - active (AS) and passive (PS). When an intermittent fault is in AS, the effect of intermittent fault is present. Whereas, when an intermittent fault is in PS its effect is not present. Transfers from one state to the other one are described with the corresponding intensities λ and μ (see Fig. 2)

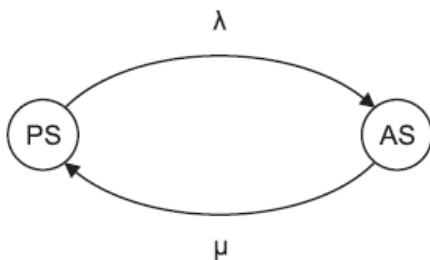


Fig. 2 – Model of intermittent fault

The process of transfers between these two states can be described as continuous Markov chain, where the time period during which the intermittent fault stays in state AS (PS) is random value. This random value has exponential probability distribution with mean $1/\mu$ ($1/\lambda$).

The probabilistic models for describing the behavior of intermittent faults are used for computer modeling of intermittent faults and for designing intermittent fault detection experiments.

Among the first problems that were considered in the area of system level self-diagnosis accounting intermittent faults were the problems of developing

the diagnosis procedure and the algorithm allowing to identify intermittently faulty units.

Considering intermittent faults in context of system level self-diagnosis is very important since imperfect test fault coverage can lead to the same effect as the presence of intermittent faults can produce. Thus, the assumption that $P_{AT} = 1$ (where P_{AT} is the probability that fault-free unit will identify correctly the tested faulty unit) can be relaxed when intermittent faults are taken into consideration.

Attempts to exploit the same methods for diagnosis intermittent faults as the ones used for diagnosis of permanent faults can considerably complicate the diagnosis and can lead to receiving incorrect (confusing) diagnosis results.

So, for example, for diagnosis of intermittent faults there should be considered three states of a unit, i.e., fault-free, permanently faulty and intermittently faulty. It means that probabilistic algorithms have to consider 3^N hypotheses that may be time-consuming even for diagnosing the systems with not very large number of units. In case of homogeneous systems, there can be received the result of diagnosis indicating that two hypotheses made upon system unit state have equal posterior probability (or near equal). This situation can arise when system units have approximately equal values of prior probabilities of fault-free state.

In case of table algorithms, it is very probable that a confusing result of diagnosis will be received, since presence of intermittent faults contradicts the main assumptions made for table algorithms (e.g., $P_{AT} = 1$).

The situation when a system contains an intermittently faulty unit is depicted in Fig. 3.

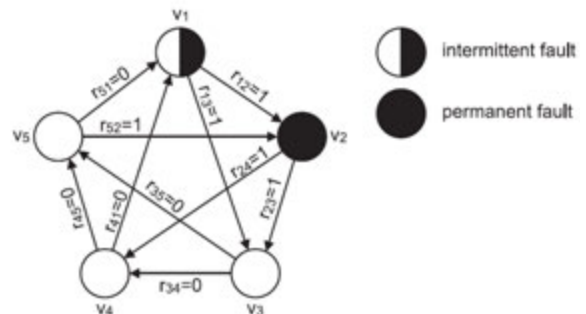


Fig. 3 – System with intermittently faulty unit

In the given case, the system consists of five units. Let unit u_1 be intermittently faulty and unit u_2 be permanently faulty. The obtained syndrome is compatible with the actual faulty situation in the system.

Given the obtained syndrome, it is not possible to make decision which of the units, u_1 or u_3 , is fault-free, and which one is intermittently faulty. To detect an intermittent fault may be very difficult for the reason that the behavior of a fault (expressed by the values of λ and μ) may be such that the fault either may stay in PS for a long time (i.e., small value of λ), or may appear in AS for a very short time (i.e., great value of μ).

However, for some types of intermittent faults there exist special methods which make it easy to diagnose intermittent faults.

It is worth noting that in case of intermittent faults, it is important not only to identify intermittently faulty units, but also to define the further step relating to the treatment of the detected intermittently faulty units. So, for example, a unit possessing the intermittent fault belonging to a certain type can operate further on even without any recovery operations performed on it.

Given testing assignment, instances of performing the tests and time duration of a test, there can be performed computer modeling of diagnosis of intermittent faults. Computer modeling is performed for different values of λ and μ and is aimed to determine the number of tests repetitions, k , ensuring the correct detection of intermittent faults. Depending on the obtained values of k , all intermittent faults can be subdivided into three types.

Type 1. Includes the intermittent faults which can be detected after repetition of each test several times (not greater than few dozens).

Type 2. Includes the intermittent faults which although can be detected by way of tests repetitions, but the number of tests repetitions must be great (in the order of 10^6).

Type 3. Includes the intermittent faults which, with high probability, may appear in AS for a short time and not more than once during the diagnosis procedure.

It should be noted that the classification of intermittent faults presented here depends considerably on the parameters of diagnosis procedure (time duration of a test, number of tests performed in one round of tests repetitions, instants of tests performing etc.).

Concurrent running of diagnosis process and intermittent fault occurrence process is depicted in sequence diagram (see Fig. 4)

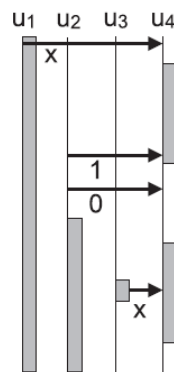


Fig. 4 – Sequence diagram

The diagram consists of the vertical dimension (time) and horizontal dimension (tests among the units). The tests among the units are shown as horizontal arrows. Their vertical position defines the instants when test is performed. The result of test is shown under the arrow. When the test is performed by a faulty unit, the result of test may take value either 0

or 1. That is why such test results are expressed by X. Faulty state of a unit is shown in the diagram as gray rectangle on the vertical line of the corresponding unit. The height of rectangle corresponds to the time duration of the faulty state of the unit.

As it follows from Fig. 4, unit u_1 is permanently faulty, unit u_2 is also permanently faulty, but the fault occurs in the unit during the diagnosis procedure. Moreover, this fault in unit u_2 doesn't influence the diagnosis result since unit u_2 has performed all assigned tests before the instants of fault occurrence.

Unit u_3 has intermittent fault. This fault was in AS for a short time. During the diagnosis procedure this intermittent fault was in AS only once. Such intermittent fault belongs to Type 3 of the above presented classification of intermittent faults.

Unit u_4 also has intermittent fault. However, as distinct from the intermittent fault of unit u_3 , the fault of unit u_4 has been in AS several times and, thus, influences considerably the diagnosis result. Intermittent fault of unit u_4 rather belongs to Type 1 than to Type 2, since this fault stays in AS longer than in PS, and, thus, it can be detected after few times of test repetitions.

For the diagnosis of intermittent fault of Type 1, there were suggested methods [6] based on summary (updated) syndrome, R_Σ . Summary syndrome R_Σ is obtained after performing m rounds of test routine. Test routine is the testing which is performed according to testing assignment.

Summary syndrome R_Σ is computed as

$$R_\Sigma = \{r_{ij}^*\}, \quad r_{ij}^* = \bigcup_l r_{ij}^l,$$

Where $r_{ij}^l \in R_l$, R_l - syndrome obtained during l -th round of test routine repetition.

It can be easily seen that summary syndrome is a subsyndrome of the syndrome which would have resulted from a test routine if all the current faults in units were of a permanent type.

Anytime the summary syndrome is consistent, a diagnosis can certainly be performed and a set of units can be identified as being faulty. Thus, diagnosis can be performed if the following condition is met

$$R_\Sigma \in R_0, \quad (1)$$

Where R_0 is the set of summary syndromes which would have been obtained if all the current faults were permanent, and the number of faults didn't exceed the value of t .

If condition (1) is met, the diagnosis can be performed by using the methods and algorithms used for diagnosing the systems which can have only permanently faulty units. But, this time, the units identified as faulty may indeed be either permanently faulty or intermittently faulty. When condition (1) is not met, the obtained summary syndrome R_Σ is inconsistent and contains conflicting test results (i.e., some of the test results conflict with each other). The result of diagnosis received on the basis of inconsistent summary syndrome will be incompatible.

Diagnosis result is incompatible when some unit is evaluated by one fault-free unit as fault-free but, at the same time, another fault-free unit evaluates this unit as faulty.

In this case, the diagnosis usually doesn't continue and ends with the reset that a system cannot be correctly diagnosed. This case can occur when system units have intermittent faults either of Type 2 or Type 3. When situation allows to continue the diagnosis procedure, there could be performed additional rounds of test routine (testing) with the aim to catch the intermittent faults in AS, and afterwards to eliminate the inconsistency from the summary syndrome.

The alternative solution of how to resolve the conflicts in test results doesn't require additional rounds of testing. It is worth noting that this alternative solution has a risk that the diagnosis result will be inaccurate. This solution makes the basic assumption that all undetected intermittent faults belong to Type 3. Thus, the probability of receiving

inaccurate reset of diagnosis, in the given case, is equal to the probability that the made basic assumption will not be true. The reasoning for making this assumption can be explained by the fact that in current complex systems the intermittent faults of Type 3 can occur much more frequently than the other types of intermittent faults can.

The suggested alternative solution consists in the following.

At the first step, the subset Z is determined. The subset Z contains all of the units that, according to the summary syndrome, are identified as fault-free.

At the second step, the consistency of all test results performed by the units of subset Z is verified. In other words, there will be checked if the units of subset Z evaluate the units which don't belong to subset Z equally.

Checking procedure can result in one of the situations depicted in Fig. 5.

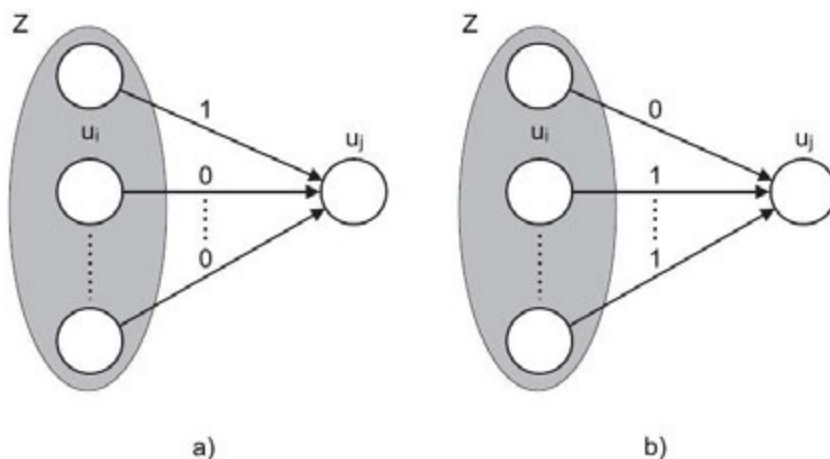


Fig. 5 – Situations caused by intermittent faults of Type 3

Situation A depicted in Fig. 5a can occur by reason of:

1. Unit u_j fails at the moment right before its participation in the last test in the last round of testing. In the given case, it is the test τ_{ij} that was performed by unit u_i on unit u_j .

2. Unit u_j has intermittent fault of Type 2, and unit u_i is the single unit which has detected this fault.

3. Unit u_i is permanently faulty. The test τ_{ij} is the first test that has been affected by this fault. It means that before test τ_{ij} unit u_i was fault-free.

4. Unit u_i is intermittently faulty. This intermittent fault was detected only by test τ_{ij} .

5. Either unit u_i or unit u_j has intermittent fault of Type 3. This intermittent fault was in AS at the moment of performing test τ_{ij} .

The situation A can also occur when both units, u_i and u_j , are intermittently faulty, but the probability of occurrence of such situation is very small (negligible). Some examples of occurrence of situation A are shown in Fig. 6.

In case of 2, 4, 5, there exist many possibilities of how situation A can occur, but only one example is

depicted. Exception is made only for the case of 5 when two examples are depicted. According to the basic assumption made, there are considered only intermittent faults of Type 3 (case of 5).

Thus, we can conclude that either unit u_i or unit u_j is intermittently faulty. An intermittent fault in a unit with high probability will not be in AS more than once during system operating. It means that the unit possessing such intermittent fault can operate correctly for a long time after the intermittent fault has transferred into PS. In view of this, it is not important which of the units, u_i or u_j , has intermittent fault. The main goal, in this case, is to eliminate inconsistency from the set of test results. Consequently, the solution consists in changing the result of test τ_{ij} from 1 to 0.

Situation B depicted in Fig. 5b can occur only in the case when unit u_j has intermittent fault which was detected by all units of subset Z except the unit u_i . In Fig 7, there are shown some examples which result in occurrence of situation B.

In the given case, the solution is straightforward. It is sufficient to change the result of test τ_{ij} from 0 to 1.

More complex situation arises when subset Z has only two elements (see Fig. 8)

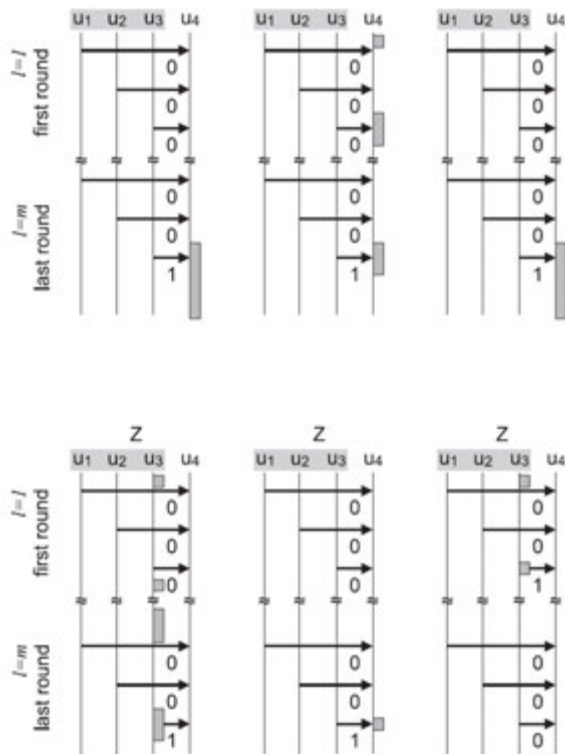


Fig. 6 – Examples of occurrence of situation A

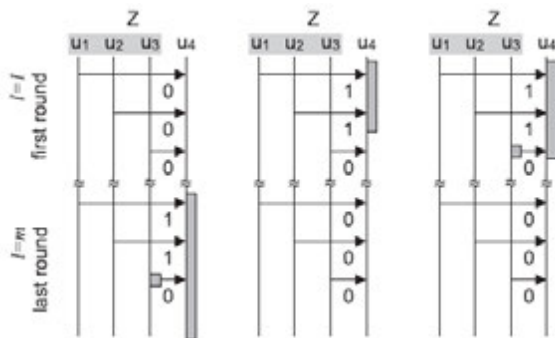


Fig. 7 – Examples of occurrence of situation B

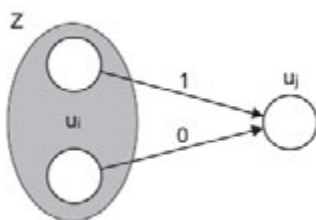


Fig. 8 – Case when subset Z has only two elements

In this case, it is possible to interpret the obtained result either as situation A or situation B. For making the choice between these two situations it is necessary to compare the probabilities of these situations. When situation A is chosen, one can conclude that either unit u_i or unit u_j possesses an intermittent fault of Type 3. When situation B is chosen, unit u_i possesses an intermittent fault of Type 2. Since the probability of occurrence of intermittent fault of Type 2 is lesser than

the probability of occurrence of intermittent fault of Type 3, it is reasonable to give preference to the situation A.

Summarizing the above consideration of diagnosis of intermittent faults, there could be listed the following specific features of such diagnosis:

I. Some intermittent faults which belong to Type 3 cannot be identified unambiguously. In this case, there should be resolved the conflicts among the test results produced by the fault-free units.

II. The diagnosis procedure consists in the following:

Step 1. Performing m rounds of test routine and obtaining summary syndrome R_Z .

Step 2. Checking the condition $R_Z \in R_0$. If the condition is met, the subsequent diagnosis is performed in the same manner as diagnosis of permanent faults. Otherwise, there should be performed the next step.

Step 3. Determining subset Z by using the summary syndrome. Subset Z contains all of the units which were identified as fault-free by using the summary syndrome.

Step 4. Verifying the consistency of test results produced by the units of subset Z .

Step 5. Resolving the conflict situation.

III. Intermittent faults can be subdivided into three types according to the value of m (number of rounds of test routine repetition which is needed to detect an intermittent fault). Intermittent faults of Type 1 can be identified at Step 2. Some intermittent faults of Type 2 can be identified after performing Step 3. Intermittent faults of Type 3 can be detected (i.e., we can assert that the system has an intermittent fault), but cannot be identified. Usually, the system can tolerate these intermittent faults and is able to continue in delivering correct services. Conflict situations caused by intermittent fault of Type 3 are resolved at Step 5.

IV. The main drawbacks of intermittent fault diagnosis based on tests repetitions are as follows:

- the diagnosis is time-consuming;
- it may be difficult to provide tests among the system units when the system operates (i.e., concurrently with delivering services).

Conclusions

Sensor networks used for environment monitoring are often working in surroundings which can produce negative effects on sensor network. For example, radiation can cause intermittent faults in sensor nodes. Temperature and humidity can also impact negatively on sensor's functioning. Current diagnosis techniques which are used for checking and diagnosing of sensor nodes mostly deal with permanent faults. In this paper, we have considered specifics of intermittent fault diagnosis and have shown how diagnosis based on mutual sensor tests can be used to diagnose faulty sensor nodes. We have considered different types of intermittent faults and suggested diagnosis procedure for each of them.

References:

1. Amir Taherkordi, Majid Alkaee Taleghan and Mohsen Sharifi. /in Journal of Networks (JNW), Vol. 1, Issue 6, 2006.
2. Yang Yu, Viktor K Prasanna, Bhaskar Krishnamachari. Information Processing and Routing in Wireless Sensor Networks. ISBN: 978-981-270-146-6 (ebook), 204p., 2006.
3. Akhilesh Sharma, Vineet Richariya. Intermittent fault diagnosis on WSNs using an energy efficient clustering technice. / in International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol.1, Issue 2, 2011, ISSN 2250-2459.
4. Kamal, S.; Page, C.V. Intermittent fault: a model and a detection procedure. IEEE Trans. Comput. Vol.C-23, No.7, 1974. pp.713-719.
5. Su, S.; Koren, I.; Malaiya, K. A continuous-parameter Markov model and detection procedures for intermittent faults. IEEE Trans. Comput. Vol.C-27, No.6, 1978. pp.567-570.
6. Mallela, S.; Masson, G. Diagnosable systems for intermittent faults. IEEE Trans. Comput., Vol.C-27, No.6, 1978. pp.560-566.
7. Машков О.А., Косенко В.Р., Дурняк Б.В., Тимченко О.В. Особливості створення функціонально-стійкої системи управління динамічним об'єктом моніторингу навколишнього середовища / Збірник наукових праць, Інститут проблем моделювання в енергетиці, вип. 62, Київ, 2012, с. 210-228.
8. Машков О.А., Косенко В.Р., Дурняк Б.В., Тимченко О.В. Науково-теоретичні основи забезпечення функціональної стійкості системи моніторингу навколишнього середовища / Збірник наукових праць, Інститут проблем моделювання в енергетиці, вип. 63, Київ, 2012, с. 202-218.
9. Машков О.А., Коробчинський М.В., Щукін А.Н., Ярема О.Р. Исследование свойств функционально-устойчивого комплекса управления групповым полетом БПЛА экологического мониторинга / Моделирование та інформаційні технології /Збірник наукових праць, Інститут проблем моделювання в енергетиці, вип. 65, Київ, 2012, с. 202-214.
10. Машков О.А. Коробчинський М.В., Щукін А.Н., Ярема О.Р. Теоретические основы создания функционально-устойчивого комплекса управления групповым полетом беспилотных летательных аппаратов экологического мониторинга / Моделирование та інформаційні технології /Збірник наукових праць, Інститут проблем моделювання в енергетиці, вип. 66, Київ, 2012, с. 215-223.
11. Васильев В.С., Машков О.А., Фролов В.Ф. Методы и технические средства экологического мониторинга / Экологичні науки: науково-практичний журнал. – К.: ДЕА, 2014.-№5.-с. 57-67.

ДІАГНОСИКА СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ, ЯКИ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

О.А. Машков, В.А. Машков, В.Р. Косенко

Сенсорні мережі, які використовуються для моніторингу навколишнього середовища, дуже часто піддаються негативному впливу самого середовища. У статті представлені діагностичні методи, засновані на взаємних контролях між окремими сенсорами. Таке діагностоване сенсорної мережі відноситься до самодигностирования на системному рівні. Традиційно самодіагностування на системному рівні використовується для виявлення модулів з постійними відмовами. У статті розглядаються проблеми, пов'язані з виявленням переміжних відмов і пропонуються діагностичні процедури, що дозволяють розрізняти різні типи переміжних відмов. Для кожного типу переміжних відмов розроблена окрема процедура діагностування.

Ключові слова: діагностика, сенсорні мережі, екологічний моніторинг, навколишнє середовище

ДИАГНОСТИКА СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

О.А.Машков, В.А. Машков, В.Р. Косенко

Сенсорные сети, которые используются для мониторинга окружающей среды, очень часто подвержены отрицательному влиянию самой среды. Следствием такого влияния могут быть частые отказы сенсоров. В статье представлены диагностические методы, основанные на взаимных контролях между отдельными сенсорами. Такое диагностирование сенсорной сети относится к самодигностированию на системном уровне. Традиционно самодиагностирование на системном уровне используется для обнаружения модулей с постоянными отказами. В статье рассматриваются проблемы, связанные с обнаружением перемежающихся отказов и предлагаются диагностические процедуры, позволяющие различать различные типы перемежающихся отказов. Для каждого типа перемежающихся отказов разработана отдельная процедура диагностирования.

Ключевые слова: диагностика, сенсорные сети, экологический мониторинг, окружающая среда

УДК 528.32:504.57

Пашков Д. П., Шевченко Р. Ю.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, м. Київ

ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ В ЕКОЛОГІЧНОМУ МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ

Розглядаються функціональні та технологічні принципи використання багатоспектральних космічних знімків для потреб проведення оперативного екологічного моніторингу антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. Подається огляд роботи відповідних аерокосмічних систем, що полягає у реєстрації спектрального відбивання об'єктами навколишнього середовища на певних спектральних ділянках видимого та інфрачервоного спектру (0,3-14 мкм). Ці ділянки можуть бути або широкими (близько 0,2 мкм), або вузькими (менш ніж 0,01 мкм). Для візуалізації технічного принципу роботи в статті представлена графічна модель «Багатоспектрального кубу зображення» та відповідний математичний апарат роботи спеціалізованої аерокосмічної системи дистанційного зондування Землі. В роботі визначено, що прилади багатоспектрального сканування, що встановлюються на супутниках, дозволяють отримати інформацію з роздільною здатністю близько 10 м, скануючи при цьому території розмірами 60-185 км. Відповідні багатоспектральні сканери використовують для аналізу земної поверхні, рослинних покривів, визначення вологості ґрунту, оцінки рослинної біомаси, сніжних покривів, непрохідних просторів, кольору океану та є основою для відповідного геоінформаційного екологічного картографування. Зазначені недоліки в роботі відповідних систем, але перевагою багатоспектральних сканерів є здатність використовувати вузькі спектральні ділянки та отримувати інформацію у цифровій формі.

Ключові слова: багато спектральні зображення, космічні знімки, роздільна здатність, оптико-електронна система, екологічний моніторинг.

Вступ. Одним з перспективних напрямків використання космічної зйомки - є дистанційне зондування Землі із застосуванням багатоспектральних сенсорів [1, 15].

Проведення зйомки супутником оптико-електронного спостереження здійснюється в «вікнах прозорості», де технологічно функціонують багатоспектральні сканерні системи в діапазонах 0,3-1,3; 1,5-1,8; 2,0-2,6 мкм [1, 2, 15]. При цьому, необхідно зазначити, що у видимій, ближній інфрачервоній і середньої інфрачервоній частинах спектра виявляються чіткі відмінності відбивної здатності. Це призводить до того, що не можна розробити «універсальний» алгоритм обробки космічних зображень.

У зв'язку з цією обставиною доводиться розробляти нові підходи і алгоритмічні рішення для виконання поставленого завдання. При цьому, на сьогоднішній день, визначені і достатньо вивчені «атмосферні вікна» з мінімальним поглинанням оптичного сигналу, але поряд з цим, використовується і частотний діапазон для проведення оптимальної зйомки в залежності від рішення прикладної задачі [4, 6, 7, 10].

Однак, багато питань залишаються невивченими, щодо спектральних характеристик багатьох різних видів об'єктів і речовин, що впливають на спектральний їх відклик, вимірюваний оптичними системами дистанційного зондування [1, 14, 15].

Результати досліджень. Сучасні системи дистанційного зондування різнофункціональні за

технологією реалізації знімальних програм. Так, для потреб екологічного моніторингу важливе значення відіграє технічні характеристики отриманих геозображень, а також методи автоматичної ідентифікації інтерпретації (дешифрування) потенційно-небезпечних об'єктів або явищ незалежно від їх геолокалізації (наземні, підземні, плавучі або латентні, динамічні та статико-кінематичні). Основним джерелом в фотограмметричному моніторинзі антропогенного впливу і першим етапом наукового дослідження – є аналіз каталогу космічних геозображень на територію реалізації моніторингу навколишнього середовища.

Каталоги отриманих космічних геозображень різнопланові і класифікуються технологією зйомки за діапазонами, технологічними і технічними параметрами ПЗС-матриці супутникових знімальних систем, кривиною Землі, просторовою відбивною здатністю географічних об'єктів, станом атмосфери та її шарів, динамічністю явищ, що підлягають зондуванню. Тому постає наукова проблема вивчення геометрії цифрового супутникового геозображення в контексті розробки автоматизованих прийомів трансформування маршрутних знімків та «розкриття» т.з. спотворених зон на зображенні внаслідок його «перспективності» або іншої «ущільненості» географічної інформації. Таким чином, необхідно дослідити проекцію отриманого геозображення методами фотограмметричних побудов.

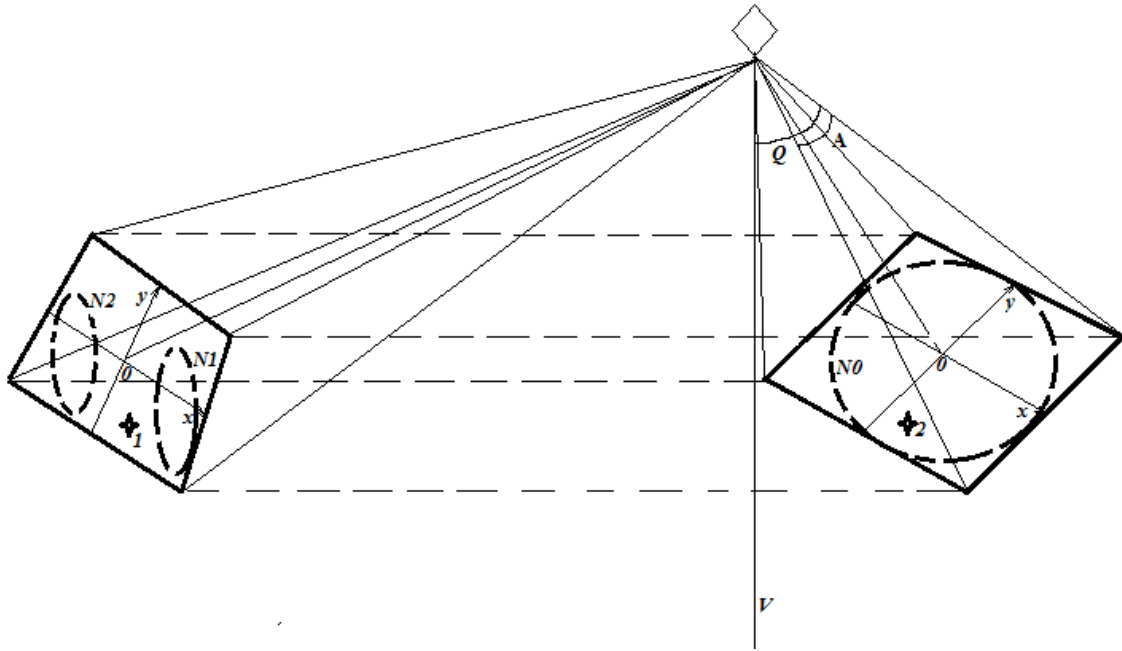


Рис. 1. Геометрія цифрових дистанційних зображень

На рис. 1 позначені: A – ширина смуги знімання; Q – повний кут знімання; V – лінія нормалі – основної координати в фотограмметрії; O – центр проекції зображення – центральна точка контурної області нульових викривлень; $N0$, $N1$, $N2$ – ізоколи-індикатори Тиссо (лінія рівних викривлень), за якою знаходиться спотворені ділянки зображення. Це може проявлятися в зміні кольору геооб'єкту, його топологічних характеристик [17].

Відповідні області спотворення визначаються вимірюванням координат відповідних контрольних точок на цифрових геозображеннях: 1 та 2 із відповідними каталогами геодезичних координат місцевості за наступним математичним апаратом:

$$\begin{cases} x_1 = f_1(\varphi_1, \lambda_1, h_1) \\ y_1 = f_1(\varphi_1, \lambda_1, h_1) \\ x_2 = f_2(\varphi_2, \lambda_2, h_{21}) \\ y_2 = f_2(\varphi_2, \lambda_2, h_2) \end{cases} \quad (1)$$

де φ , λ , h – географічні координати місцевості.

Зі спотворенням дійсних координат об'єктів на місцевості, за якими реалізується екологічний моніторинг «зміщується» і наступна супутня геоінформація, достовірність якої фактично втрачається. Особливого значення такий «зсув» геоданих проявляється в процесі розробки оперативних дій з ліквідації наслідків техногенних та природних надзвичайних ситуацій.

Пропонуються наступні математичні перетворення для аналітичної трансформації координат – приведення координат на цифровому

знімку до дійсних геодезичних датумів контрольної точки місцевості, внаслідок чого географічна інформація врівноважиться і буде відповідати дійсним географічним координатам [18].

«Зсув або стискання» географічної інформації за зовнішніми контурами ізокол вирівнюється за допомогою виправлення кутових величин на знімку суміщенням координатних ліній x та y на знімку із координатними лініями цифрової топооснови. Цей кут можна обчислити за допомогою коефіцієнтів Гаусса за формулами:

$$\sin A = \frac{f}{\sqrt{R_{N_1}}}; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} Q = \frac{f}{h}$$

де A – поздовжній кут «змивання» геоінформації;

f – коефіцієнт значення ізокол, що залежить від широти території космічного знімання;

R_{N_1} – значення суміщення пікселів на знімку, що залежить від трансформації координат $N_{1..}$, Q – поперечний кут, h – висота космічного знімання.

Звичайно, математичним перетворенням ми лише аналітично приведемо цифрову основу до трансформаційної моделі (ортофототрансформації знімків). Наступним етапом досліджень стане інтерполяційне або екстраполяційне відображення фотогеографічної (геоіконічної) складової панорамних, маршрутних та перспективних цифрових геозображень, які стиснуті контурами ізокол, які формують багатопланове сприйняття географічної інформації.

Розглянемо принцип формування космічного багатоспектрального зображення під час реалізації дистанційного зондування. В космічній зйомці головним джерелом освітлення є Сонце. Розподіл енергії, що випромінюється Сонцем математично має вираз функції залежної від довжини хвилі по всьому електромагнітному діапазоні, відомому як сонячний спектр [16]. Сонячна енергія поширюється через атмосферу Землі і її інтенсивність і спектральний розподіл змінюється під впливом атмосфери. Внаслідок цього енергія взаємодіє з поверхнею, яка відбиває сигнали, пропускає і/або поглинає. Потім відбита/випромінювана енергія

повертається назад через атмосферу в оптичний пристрій штучного супутника Землі у фотоприймач, де піддається додатковій зміні через фізичні параметри інтенсивності сигналу та функціями спектру. В результаті, енергія вловлюється приймачем, де вона вимірюється і перетворюється в цифрову форму для подальшої обробки та використання [14, 15, 16].

Особливість багатоспектральної зйомки полягає в тому, що на виході аналогово-цифрового перетворювача формується багатоспектральне зображення (рис. 2), де X , Y – просторові (геодезичні) координати, а λ – кількість спектральних каналів.

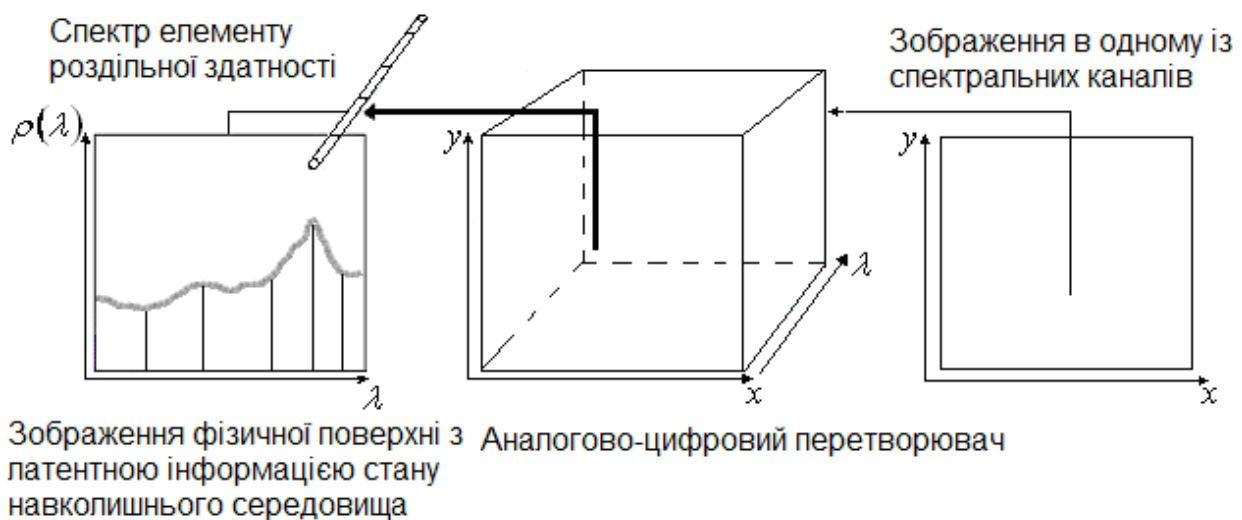


Рис. 2. Багатоспектральний куб зображення

При цьому, спектральні характеристики знімку визначаються в основному від здатності відображати, поглинати і пропускати сонячну енергію [6]. Відбиття, поглинання і пропускання падаючих сонячних променів залежать від довжини хвилі світла і теоретично описуються рівнянням енергетичного балансу [1, 6]:

$$I_{\lambda} = R_{\lambda} + A_{\lambda} + T_{\lambda}, \quad (3)$$

де I_{λ} – падаюча енергія;

R_{λ} – відображена енергія;

A_{λ} – поглинена енергія;

T_{λ} – пропускаєма енергія.

При цьому величина відбитої енергії залежить від багатьох факторів [1, 6], що математично мають вираз:

$$R_{\lambda} = f\left(\frac{\lambda, h_0, A_0, D}{Q, A, \varphi, \dots}\right), \quad (4)$$

де λ – довжина хвилі;

h_0 – висота Сонця;

A_0 – азимут Сонця відносно структури поверхні об'єкта;

D – потік розсіяної радіації;

Q – потік сумарної радіації;

A – азимут напрямку спостереження щодо площини головного вертикала;

φ – кут відхилення напрямку спостереження від вискової лінії.

Визначення R_{λ} дає можливість розпізнавати різні об'єкти, а також виявляти в приземній області атмосферні зміни [16]. Крім цього, в залежності від сигнатури (спектральні характеристики) сигналу, можна визначити стан хлорофілу рослинності, а також ґрунтовий покрив і стан водне середовище, т.т. оцінювати стан навколишнього природного середовища, що є основою оперативного екологічного моніторингу довкілля. Також ці властивості ефективно використовуються при виявленні хвороб рослин, деградації ґрунту, забруднень води і атмосфери, а також інших факторів, що

призводять до зміни їх стану [15]. Таким чином, можна здійснити класифікацію різних типів за даними ДЗЗ.

У теоретичному плані багатоспектральне зображення представляється як кадр інформації, який містить в собі випромінювання з функцією спостереження безперервного простору, що залежить від довжини хвилі і тимчасових змін [1, 12, 13, 15]. Однак на практиці всі датчики мають обмежені просторові, спектральні, радіометричні технічні параметри і часову роздільну здатність, в результаті чого кадр яскравості записується з кінцевою роздільною здатністю [1, 9, 12] (рис. 3, А, Б).

Просторова роздільна здатність оптико-електронної системи спостереження визначає

розміри об'єкту, який можна побачити на поверхні Землі як певний об'єкт, який відділений від оточуючого середовища. Просторова роздільна здатність також пов'язана з тим як якісно оптико-електронна система може записувати просторові деталі.

Спектральна роздільна здатність космічного знімку визначається шириною смуги спектрального каналу, яка використовується для вимірювання або витягування на різних довжинах хвиль [12, 13]. Характеризуючи радіометричний дозвіл необхідно звернути увагу на певну кількість числа біт, які використовуються для опису значення яскравості виміряної величини в кожній спектральній смузі [12, 13].

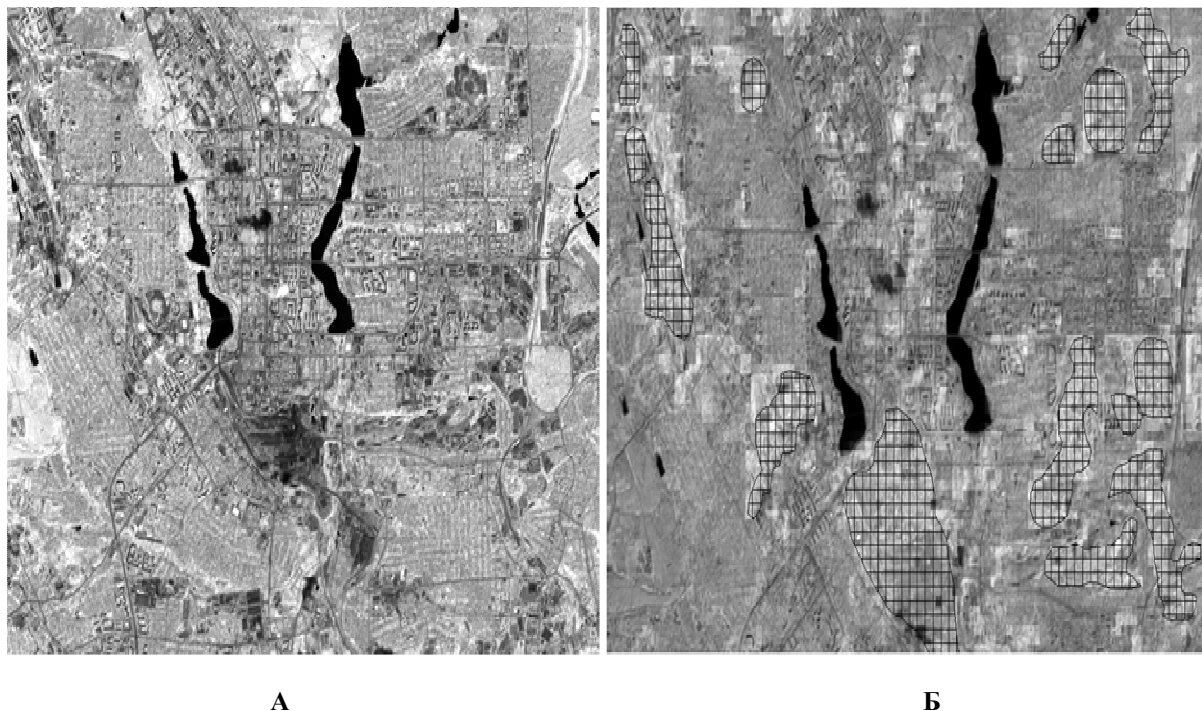


Рис. 3. Використання даних екологічного моніторингу для геоінформаційного моделювання теплових градієнтів за даними різночасової багатоспектральної зйомки:

А – підтвердження факту виділення тепла териконами з можливістю їх подальшого картографічного моделювання;

Б – зони із найбільшим виділенням тепла

Тимчасова роздільна здатність пов'язана з частотою оптико-електронної системи проводити з космічного апарату дистанційне зондування Землі для отримання нового космічного зображення. Крім цього, спектральна і радіометрична роздільна здатність інтерпретується у вигляді записаного спектру [3, 5].

Іншою важливою стороною використання багатоспектральних космічних зображень є те, що вони орієнтовані на класифікацію у вигляді групи подібних точок. Безліч точок кожного класу зменшують випадкові помилки при класифікації

точок, так як інтерпретація кадру ґрунтується на кластеризації більшості точок [3, 5]. Наприклад, якщо одна з кожної тисячі точок в зображенні зернових є помилково класифікованою, то окремі помилки не змінюють загального сприйняття для ідентифікації [7]. Однак зі збільшенням кількості точок зі зміненою сигнатурою вагає інтерпретації інших властивостей (рис. 2) [15].

Таким чином, інформаційні властивості космічного зображення залежить від числа і ширини спектральних діапазонів оптико-електронної системи космічного апарату при

дистанційному зондування Землі, які використовуються для збору інформації [9]. При цьому, багатоспектральні пристрої мають сотні вузьких смуг. У табл. 1 показані принципові відмінності між системами дистанційного зондування, які використовують просторову і спектральну інформацію [11, 12, 13, 15].

Як зазначено авторами в роботі [1], дослідження багатоспектрального зондування, а пізніше гіперспектрального зондування привело до розроблення науково-методичного підходу для дистанційного зондування природного середовища, який включає такі функціональні опції як: вивчення складу мінералів, визначення характеристик покриву місцевості, оцінка параметрів стану врожаю. Недоліком методу є те, що у додатках-опціях морфологічна (про форму) інформація (яка є важливою передумовою для дистанційного зондування

штучних об'єктів), є мінімально корисною в процесі виявлення об'єктів, так як різні природні матеріали, які нас цікавлять, не мають зумовлених форм [8, 9].

З огляду на ці особливості необхідно розробити новий науково-методичний апарат виділення невизначених розмірів і форм всередині великої території, яка має відмінні топографічні властивості. Це стосується в першу чергу забруднення та викидів небезпечних отруйних речовин.

При дешифруванні космічних знімків та обробці багатоспектральних космічних зображень при екологічному моніторингу викиди і забруднення змінюють атмосферну структуру і мають невизначену форму і можуть навіть сильно бути змішаним з іншими речовинами приземної атмосфери [7].

Таблиця 1.

Порівняння просторової і спектральної обробки космічних знімків ДЗЗ

Особливості етапів обробки	Обробка космічних зображень	
	Просторова	Спектральна
Сприйняття зображення	Інформація є закладена в просторовому розташуванні точок в кожній спектральній смузі.	Кожна точка має пов'язаний спектр, який використовується для розпізнавання джерел забруднення у відповідному елементі роздільної здатності знімку конкретної місцевості.
Визначення місцепозиціонування	При обробці зображень використовується інформація про геометричні ознаки.	Обробка може здійснюватися по одній точці одноразово.
Можливість розпізнавання	Необхідна дуже висока просторова роздільна здатність для розрізнення об'єктів за формою (множина точок)	Немає необхідності у високій просторовій роздільній здатності (одна точка).
Роздільна здатність	Висока просторова роздільна здатність вимагає великої апертури і призводить до зниження у співвідношенні «сигнал-шум».	Спектральна роздільна здатність більш важлива, ніж просторова.
Обсяг оброблюваних даних	Обсяг даних зростає квадратично з ростом просторової роздільної здатності.	Обсяг даних збільшується лінійно зі збільшенням числа спектральних смуг.
Можливість використання обчислювальних систем	Обмеження в розробці повністю автоматизованих алгоритмів, що використовують геопросторові властивості.	Повністю автоматичні алгоритми, які використовують спектральні властивості, розроблюються для окремих додатків ГІС.

Порівняння просторового і спектрального підходів з обробки космічних зображень пов'язано з принциповою відмінністю виявлення і визначення об'єктів щодо пошуку джерел забруднення для його розпізнавання в кадрі з постійною формою або спектром [1].

Існуючі методи обробки космічних знімків розроблені для класифікації забруднюючих речовин, що впливають на навколишнє середовище, і не є застосовними в дослідженні з двох причин. По-перше, ступінь впливу в кадрі в основному занадто малий для забезпечення

оцінки статистичних властивостей виявлення на знімку. По-друге, в залежності від здатності датчика, що цікавить першу чергу, інтерпретована геоінформація може проявляється тільки в декількох точках або навіть в одній точці. Роз'єднаний характер процесу екологічного моніторингу та зокрема ступеня впливу (взаємодії) підтверджує, що кластеризація подібних зразків досить проблематична.

Виявлення потенційно небезпечних екологічних об'єктів можливо, завдяки

зведенню безлічі складних операцій при обробці та комплексної оцінці існуючих можливостей, яка лягає в більш складну схему обробки космічних зображень. При цьому, багатоспектральні датчики можуть не надавати повної (генералізованої) еколого-географічної інформації, в якій просторова роздільна здатність знижується з метою поліпшення спектральної роздільної здатності [9, 15].

Для ефективної обробки космічних зображень при проведенні екологічного моніторингу дистанційними методами на сучасному етапі активно розвиваються підходи отримання даних пов'язаних з різними спектральними діапазонами. При цьому, кожен датчик дозволяє отримати цифрові зображення підстильної поверхні в різних спектрах електромагнітного випромінювання [7, 14].

Інформація про трансформаційні зміни на поверхні може міститися в зміні геометричних характеристик, просторових поділах рівнів яскравості, а також спектральних сигнатур. Для того, щоб отримати максимальну кількість інформації про зміни і стан, що протікають в зоні спостереження можна вдаватися до процедури комплексування отриманих даних від різних методів обробки космічних знімків.

Висновки. Багатоспектральні знімки є найбільш підходящим для пошуку антропогенних джерел забруднення, в яких спектральна інформація є просторово достовірною та технічно вимірюваною ніж морфологічна інформація або інформація про форму.

Необхідно у подальших наукових розробках розвивати методи обробки космічних зображень, в тому числі і використовувати багатомірність багатоспектральної візуалізації, що дозволяє використовувати більш повну інформацію від простого оглядового аналізу даних, а також здійснювати обробку багатовимірних даних за допомогою алгоритмів виявлення і видалення геоінформації, що вишукується з багатоспектрального космічного зображення у цілях екологічного моніторингу.

Також подальші наукові дослідження з теми повинні бути присвячені підходам до комплексного отриманих даних для представлення їх на цифрових екологічних картах стану навколишнього середовища при проведенні екологічного моніторингу в середовищі геоінформаційних систем.

Список літератури

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / [Лялько В. І., Федоровський О.Д., Костюченко Ю.В. та ін.]; за ред. В. І. Лялько і М. І. Попова. – К.: Наукова думка. – 2006. – 357 с.
2. Бакланов А. И. Системы наблюдения и мониторинга / Бакланов А. И. – М.: БИНОМ. Лаборатория знания. – 2009. – 234 с.
3. Валентюк А.Н. Оптическое изображение при дистанционном зондировании / А. Н. Валентюк, К. Г. Предко. – Минск: Наука и техника, 1991. – 360 с.
4. Дистанційне зондування Землі: тлумачний словник / НКАУ, ДНВЦ "Природа". – К., 1996. – 518 с.
5. Зуев В. Е. Перенос оптических сигналов в земной атмосфере (в условиях помех) / В. Е. Зуев, М. В. Кабанов. – М.: Сов. радио, 1977. – 368 с.
6. Кохан С. С. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи / С. С. Кохан, А. Б. Востоков. – К.: Вища школа, 2009. – 511 с.
7. Красовский Г. Я. Введение в методы космического мониторинга окружающей среды / Г. Я. Красовский, В. А. Петросов – Х.: ХАИ, 1999. – 206 с.
8. Лабудина И. А. Дешифрирование аерокосмических снимков / Лабудина И. А. – М.: Аспект Пресс, 2004. – 184 с.
9. Негода О. О. Зарубежные системы дистанционного зондирования Земли из космоса двойного назначения. История создания, принципы действия, применения и перспективы развития / Негода О. О., Толубко В. Б., Мосов С. П. – К.: НАОУ, 2005. – 246 с.
10. Некос А. Н. Дистанційні методи досліджень в екології / Некос А. Н., Щукін Г. Г., Некос В. Ю. – Харків: ХНУ імені В.Н.Каразіна, 2007. – 372 с.
11. Обиралов А. И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование / Обиралов А.И., Лимонов А. Н., Гаврилова Л. А. – М.: КолосС, 2006. – 334 с.
12. Тарасов В.В. Современные проблемы оптотехники: учебное пособие / Тарасов В.В., Торшина И. П., Якушенков Ю. Г. – М.: МИИГАиК, 2014. – 82 с.
13. Толмачева Н. И. Космические методы экологического мониторинга / Толмачева Н. И., Шкляева Л. С. – Пермь: Перм. ун-т, 2006. – 296 с.
14. Чандра А. М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А. М. Чандра, С. К. Гош. – М.: Техносфера, 2008. – 312 с.
15. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р. А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
16. Якунина И. В. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг / И. В. Якунина, Н. С. Попов. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 188 с.
17. Серапинас Б. Ю. Математическая картография : Учебник для вузов / Б. Б. Серапинас. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 336 с.
18. Дорожинський, О. Л. Фотограмметрія : Підручник. / О. Л. Дорожинський, Р.Д. Тукай. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2008. – 332 с.

References

1. Bagatospektral'ni metodi distancijnogo zonduvannya Zemli v zadachah prirodokoristuvannya / [Lyal'ko V. I., Fedorovs'kij O.D., Kostyuchenko Yu.V. ta in.]; za red. V. I. Lyal'ko i M. I. Popova. – K.: Naukova dumka. – 2006. – 357 s.
2. Baklanov A. I. Sistemy nablyudeniya i monitoringa / Baklanov A. I. – M.: BINOM. Laboratoriya zna nij. – 2009. – 234 s.
3. Valentyuk A.N. Opticheskoe izobrazhenie pri distancionnom zondirovanii / A. N. Valentyuk, K. G. Predko. – Minsk: Navuka i tekhnik, 1991. – 360 s.
4. Distancijne zonduvannya Zemli: tlumachnij slovník / NKAU, DNVC "Priroda". – K., 1996. – 518 s.
5. Zuev V. E. Perenos opticheskikh signalov v zemnoj atmosfere (v usloviyah pomekh) / V. E. Zuev, M. V. Kabanov. – M.: Sov. radio, 1977. – 368 s.
6. Kohan S. S. Distancijne zonduvannya Zemli: teoretichni osnovi / S. S. Kohan, A. B. Vostokov. – K.: Vishcha shkola, 2009. – 511 s.
7. Krasovskij G. Ya. Vvedenie v metody kosmicheskogo monitoringa okruzhayushchej sredy / G. YA. Krasovskij, V. A. Petrosov – H.: HAI, 1999. – 206 s.
8. Labudina I. A. Deshifrirovaniye aerokosmicheskikh snimkov / Labudina I. A. – M.: Aspekt Press, 2004. – 184 s.
9. Negoda O. O. Zarubezhnye sistemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa dvojnogo naznacheniya. Istoriya sozdaniya, principy dejstviya, primeneniya i perspektivy razvitiya / Negoda O. O., Tolubko V. B., Mosov S. P. – K.: NAOU, 2005. – 246 s.
10. Nekos A. N. Distancijni metodi doslidzhen' v ekologii / Nekos A. N., Shchukin G. G., Nekos V. YU. – Harkiv: HNU imeni V.N.Karazina, 2007. – 372 s.
11. Obiralov A. I. Fotogrammetriya i distancionnoe zondirovanie / Obiralov A.I., Limonov A. N., Gavrilova L. A. – M.: KolosS, 2006. – 334 s.
12. Tarasov V. V. Sovremennye problemy optotekhniki: uchebnoe posobie / Tarasov V.V., Torshina I. P., Yakushenkov Yu. G. – M.: MIIGAiK, 2014. – 82 s.
13. Tolmacheva N. I. Kosmicheskie metody ehkologicheskogo monitoringa / Tolmacheva N. I., Shklyayeva L. S. – Perm': Perm. un-t, 2006. – 296 s.
14. Chandra A. M. Distancionnoe zondirovanie i geograficheskie informacionnye sistemy / A. M. Chandra, S. K. Gosh. – M.: Tekhnosfera. 2008. – 312 s.
15. Shovengerdt R. A. Distancionnoe zondirovanie. Modeli i metody obrabotki izobrazhenij / R. A. Shovengerdt. – M.: Tekhnosfera, 2010. – 560 s.
16. Yakunina I. V. Metody i pribory kontrolya okruzhayushchej sredy. EHkologicheskij monitoring / I. V. Yakunina, N. S. Popov. – Tambov: Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2009. – 188 s.
17. Serapinas B. Yu. Matematicheskaya kartografiya : Uchebnik dlya vuzov / B. B. Serapinas. – M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2005. – 336 s.
18. Dorozhins'kij, O. L. Fotogrammetriya : Pidruchnik. / O. L. Dorozhins'kij, R.D. Tukaj. – L'viv: Vidavnictvo Nacional'nogo universitetu "L'vivs'ka politehnika", 2008. – 332 s.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Пашков Д. П., Шевченко Р. Ю.

Рассматриваются функциональные и технологические принципы использования многоспектральных космических снимков для нужд проведения оперативного экологического мониторинга антропогенного воздействия на окружающую природную среду. Дается обзор работы соответствующих аэрокосмических систем. Работа заключается в регистрации спектрального отражения объектами окружающей среды на определенных спектральных участках видимого и инфракрасного спектра (0,3-14 мкм). Эти участки могут быть или широкими (около 0,2 мкм), или узкими (менее 0,01 мкм). Для визуализации технического принципа работы в статье представлена графическая модель «многоспектрального куба изображения» и соответствующий математический аппарат работы специализированной аэрокосмической системы дистанционного зондирования Земли. В работе определено, что приборы многоспектрального сканирования, устанавливаемые на спутниках, позволяют получить информацию с разрешением около 10 м, сканируя при этом территории размерами 60-185 км. Соответствующие многоспектральные сканеры используют для анализа земной поверхности, растительных покровов, определения влажности почвы, оценки растительной биомассы, снежных покровов, непроходимых пространств, цвета океана и является основой для соответствующего геоинформационного экологического картографирования. Определены недостатки в работе соответствующих систем, но преимуществом многоспектральных сканеров является способность использовать узкие спектральные участки и получать информацию в цифровой форме.

Ключевые слова: многоспектральные изображения, космические снимки, разрешающая способность, оптико-электронная система, экологический мониторинг.

USE OF MULTISPECTRAL IMAGES IN ENVIRONMENTAL MONITORING TO DETERMINE ANTHROPOGENIC IMPACT

Pashkov D. P., Shevchenko R. Yu.

The functional and technological principles of the use of mulchospheric space images for the purpose of operational ecological monitoring of anthropogenic impact on the environment are considered. An overview of the work of the relevant aerospace systems is given. The work consists in the registration of the spectral reflection by the objects of the environment on certain spectral regions of the visible and infrared spectrum (0.3-14 microns). These areas can be either wide (about 0.2 microns), or narrow (less than 0.01 microns). In order to visualize the technical principle of work, the article presents a graphic model of the "multispectral cube of the image" and the corresponding mathematical apparatus for the work of the specialized aerospace system of remote sensing of the Earth. The paper determines that multi-spectral scanning devices installed on satellites allow information to be obtained with a resolution of about 10 m, while scanning 60-185 km in size. Relevant multispectral scanners are used to analyze the earth's surface, vegetation cover, soil moisture determination, vegetation biomass estimates, snow cover, impenetrable space, ocean color, and is the basis for appropriate geoinformation ecological mapping. Deficiencies in the work of the respective systems are identified, but the advantage of multi-spectral scanners is the ability to use narrow spectral regions and to receive information in digital form.

Keywords: multispectral images, space images, resolution, optoelectronic system, ecological monitoring.

УДК: 520.826

Єпішев В.П.¹, Мотрунич І.І.¹, Найбауер І.Ф.¹, Кудак В.І.¹, Періг В.М.¹,
Москаленко С.С.², Сухов П.П.³, Сухов К.П.³

¹ Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет», Україна, м. Ужгород

² Центр контролю космічного простору, Україна, м. Мукачево

³ Одеський національний університет імені І.І.Мечникова, Україна, м. Одеса

ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ФОТОМЕТРИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Розглянуті можливості ідентифікації низько- та високоорбітальних космічних об'єктів (КО) на основі результатів їх комплексних (позиційних і фотометричних) спостережень. Проаналізовані критерії ототожнення невідомих космічних апаратів (КА) шляхом вивчення характеру їх поведінки на орбіті. Наведені дані досліджень окремих низько- і високоорбітальних штучних небесних тіл (ШНТ).

Ключові слова: спостереження, позиційні, фотометричні, колориметричні, поляризаційні, зміна блиску, варіації блиску, крива блиску, ототожнення, ідентифікація

Вступ

В умовах різкого збільшення кількості космічних об'єктів, виведених на навколоземні орбіти, їх спостереження стає все більш актуальним. Один з методів спостереження КО – вимірювання їх блиску (фотометрія). Це важливий метод комплексних спостережень КО, особливо для контролю аварійних та не каталогізованих КА, про які зовсім або частково відсутня некоординатна інформація.

На основі аналізу фотометричних спостережень, для обраних КО, можна вирішувати широке коло задач: вивчати їх орбітальну поведінку, зміну просторової орієнтації, встановлювати оптичні характеристики їх поверхонь, оцінювати їх ймовірну геометричну форму, проводити їх ідентифікацію.

На практиці, для ідентифікації КА, виявлення ознак їх аварійності та ймовірної поведінки на орбіті, все частіше використовується некоординатна інформація про ці об'єкти. До некоординатної інформації по КО можна віднести фотометричну, поляризаційну та спектральну інформацію.

Проведення комплексних фотометричних та позиційних спостережень КО, з можливим залученням даних колориметричних та поляриметричних спостережень, дозволяє визначати просторову орієнтацію досліджуваного об'єкта та окремих фрагментів його поверхні не тільки у просторі, але і відносно спостерігача та площини орбіти КА [1,2].

Фахівцями національних оптичних засобів спостережень розроблені критерії ідентифікації КО, які навіть при повній відсутності про них апріорної інформації, дозволяють їх «розпізнати» з ймовірністю близько 80%.

У статті особливу увагу приділено розробці критеріїв ідентифікації КО на основі всебічного аналізу комплексних оптичних спостережень цих об'єктів.

Мета проведення комплексних спостережень КО

Мета проведення комплексних спостережень полягає у ідентифікації КА, які знаходяться на навколоземних орбітах, на основі аналізу фотометричних та позиційних даних. В ході експерименту будуть визначатись характеристики орбітального руху КА та ймовірні для них технічний стан, геометричні форми, просторова орієнтація, стабілізація. Задача ідентифікації КА вирішується на основі комплексного підходу, з використанням даних позиційних та фотометричних (колориметричних, поляризаційних) спостережень.

Позиційні спостереження проводяться з метою визначення просторового положення КО на моменти проведення фотометричних спостережень. Фотометричні спостереження КО проводяться з метою виявлення їх цільового призначення, ймовірних конфігурацій, визначення їх поточної орієнтації та стабілізації, оптичних характеристик деталей поверхні [3]. На основі отриманих комплексних даних робляться спроби ідентифікувати досліджуваний КА.

Результати позиційних спостережень та інтерпретації фотометричних даних надсилаються в Центр контролю космічного простору (ЦККП). На основі даних, які отримані національними оптичними засобами спостереження, в ЦККП поповнюються координатна і некоординатна складові головного каталогу КО та оновлюються дані зонального каталогу геостационарних КО.

Основний матеріал

Визначення фізичних та оптичних параметрів КО за результатами спостережень змін їх блиску та динамічних характеристик відноситься до так званого класу обернених задач, що не мають універсального розв'язку [3, 5]. Тому методи дослідження КО та їх ідентифікації постійно

розвиваються і вдосконалюються.

Поєднання високоточної координатної інформації з фотометричною дає можливість відслідковувати поведінку КО на орбіті, з якими, з різних причин, відсутній зв'язок або припинилося надходження спеціальної інформації, визначати їх орієнтацію, контури і форму, досліджувати оптичні характеристики поверхні і їх зміни у часі [1, 2]. У випадку фотометричних спостережень КО в інтегральному світлі коефіцієнт ототожнення зростає до 70-73%. Якщо проводити ще й колориметричні та поляриметричні спостереження, то коефіцієнт ототожнення зростає до 85-87%.

Криві зміни блиску КО, одержані за допомогою фотометрів, відображають миттєві особливості відбивання сонячного світла від різних деталей поверхні КА, які пов'язані з його просторовою орієнтацією на момент спостережень. Позиційні виміри та виміри флуктуацій блиску КО, дають можливість отримувати інформацію про форму КО, фізичні та оптичні характеристики його поверхні, динаміку обертання та орієнтацію КО у просторі [5].

Слід зазначити, що у зв'язку з досить великими амплітудами зміни блиску і швидким рухом КО по небесній сфері, фотометричні спостереження КО значно відрізняються від фотометричних спостережень зірок [4]. Тому кожне окреме спостереження КО є унікальним, так як відтворити його, внаслідок зміни зовнішніх умов, практично неможливо.

Зважаючи на вищезазначене, при вирішенні задачі ідентифікації КО виникла необхідність виготовлення спеціалізованих, так званих супутникових електрофотометрів, на базі існуючих зоряних фотометрів. Деякі з методів обробки фотометричних даних були запозичені з класичної астрофізики. Наприклад, прив'язка блиску КО приводиться до стандартних фотометричних площадок, як і у випадку досліджень змінних зір та астероїдів.

Врахування змін блиску КО, зумовлених зміною його топоцентричної відстані, атмосферної екстинкції, фазового кута відносно Сонця, додаткового підсвічування з боку Землі та Місяця, проводиться аналогічно визначенню абсолютних зоряних величин природних космічних об'єктів.

Перелічені вище причини зміни блиску КО, окрім фазової залежності, відносяться до групи зовнішніх умов, які обумовлені лише розташуванням об'єкта у просторі, станом атмосфери та астрономічними умовами, а не самим об'єктом і його орієнтацією. Врахування зазначених факторів при проведенні фотометричних спостережень – дуже важливий етап у процесі вирішення задачі ототожнення та ідентифікації КО.

Варіації блиску КО, що проявляються у шкалі абсолютних зоряних величин, зумовлені причинами, які пов'язані з формою КО, його орієнтацією, покриттям деталей його поверхні, власним та прецесійним обертанням [5]. За умови

врахування останніх ефектів, зоряна величина КО буде обумовлена фазовою залежністю розсіювання сонячного світла і величиною альbedo кожного елемента конструкції КО та степеню їх взаємозатінення.

Два КО однакової форми, але по різному орієнтовані відносно спостерігача, мають не схожі по вигляду криві. А криві блиску двох КО різної форми в якийсь момент можуть бути схожими. Тому немає такої теорії, яка дозволила б однозначно визначати оптичні характеристики покриття КО тільки за даними отриманих значень фазових розрахунків [6].

До того ж, сучасні КА мають складну форму, яка є суперпозицією як мінімум трьох і більше основних елементів, що теж ускладнює розв'язок задачі. Ці причини спонукають шукати шляхи отримання додаткової інформації, для проведення ідентифікації того чи іншого штучного КО. Саме тому науковці ведуть постійний пошук нових критеріїв, які дозволять з більшою ймовірністю підтверджувати достовірність отриманих результатів розпізнавання КО.

Фізичні характеристики КА, які визначаються з оптичних спостережень

Фотометричні характеристики:

- 1) Ефективна площа розсіювання – $(S\gamma\lambda)$.
- 2) Спектральний коефіцієнт відбиття $(\gamma\lambda)$.
- 3) Фазовий коефіцієнт β , $(\Delta m/\text{град})$.
- 4) Колор-індекс (CI) , $(B-V, V-R)$.
- 5) Зоряна величина m , приведена до стандартної відстані і фазового кута $(\psi=0^\circ)$.

Оптико-геометричні характеристики:

- 1) Лінійні розміри КА.
- 2) Домінуюча форма.

Динамічні характеристики:

- 1) Період обертання навколо центру мас, або однієї з осей КА.
- 2) Орієнтація КА у просторі.

Відомі способи ідентифікації КА

1. Традиційний, за орбітальними параметрами.
2. По зображенню КА, яке отримується за допомогою оптичних засобів спостереження з великою фокусною відстанню.
3. По зображенню КА при його проходженні через диск Місяця та Сонця у випадку радіоспостережень.
4. За допомогою спеціальних КА, які здійснюють інспекцію ШНТ на орбіті.
5. За аналізом телеметричної та радіотехнічної інформації з борту КА.
6. За набором фізичних характеристик, які характеризують кожен клас КА у радіо або оптичному діапазонах.

Критерії ідентифікації КО

У процесі розпізнавання КО використовується

максимально можливе число апробованих на практиці критеріїв ідентифікації, які визначаються на основі комплексних (позиційних, фотометричних, колориметричних і поляризаційних) спостережень:

1. *Форма та орієнтація орбіти КО у просторі.* Інформація про орбіту КО є фундаментом у процесі визначення орієнтації самого КО і часто говорить нам про основну задачу, яку він виконує. Наприклад, сонячно-синхронну орбіту в більшості випадків мають супутники, які контролюють земну поверхню у оптичному діапазоні.

2. *Значення періодів власного і прецесійного обертання КОТ та відношення між ними.* Як показує досвід, величина цього відношення є функцією конструкції супутника і розподілу маси відносно її центра, яка для окремо взятого КА зберігає постійне значення на довгих інтервалах спостережень.

3. *Орієнтація КО і її зміна з часом.* Орієнтація буває трьохвісна і одновісна, з закрутою чи без неї. Це ключовий критерій, який дає можливість не лише встановити поведінку КО на орбіті (в робочому стані чи дестабілізований), розрахувати параметри розсіювання світла елементами поверхні КА, але часто допомагає зрозуміти і мету функціонування даного апарата на орбіті.

4. *Форма КО.* Форма КО складається з набору геометричних поверхонь (диск, сфера, циліндр, конус, багатогранник), кожна з яких розсіює світло по своєму. Їх ототожнення з кривою блиску дозволяє судити про форму КА.

5. *Наявність у відбитому об'єктом світлі дзеркальної та дифузної складової, та їх співвідношення.* Визначає оптичні характеристики покриття КО, їх характерні особливості.

6. *Характер індикатрис розсіювання світла поверхнею КО.* Індикатриса розсіювання – функція, як мінімум, двох невідомих: форми поверхні об'єкта та її орієнтації по відношенню до джерела світла і спостерігача. У випадку складної форми КО, вона є функцією n -ої кількості параметрів, має надзвичайно складний аналітичний вираз і часто неоднозначний розв'язок.

7. *Величина колор-індекса фрагментів поверхні ШНТ.* Колор-індекс S – це різниця блиску космічного тіла у двох суміжних ділянках спектру. Наприклад, $S=B-V=mB-mV$ – різниця зоряних величин у синій і жовтозеленій областях спектру. У Сонця $S=0.65m$. Його зміна у бік зростання або зменшення буде характеризувати відбиваючі властивості даної поверхні. Для панелей сонячних батарей значення S близькі до нуля. Гладко відшліфовані металічні поверхні залишають його значення дуже близьким до сонячного.

8. *Залежність ступеня поляризації світла від кута його падіння на поверхню КО.* Цей критерій дає можливість ототожнити на поверхні КО одні і ті ж фрагменти, а також оцінити наявність дифузної чи дзеркальної складової у відбитому від їх поверхні світловому потоці.

9. *Моделювання кривих блиску.* Використовуючи інформацію про будову і форму поверхні сучасних КО, на основі отриманих експериментальних даних про орієнтацію і обертання супутника, розраховуються можливі криві зміни блиску досліджуваного об'єкта і співставляються із кривою, отриманою під час спостережень.

Визначення будь-якого з вказаних критеріїв ідентифікації являє собою розв'язок окремих складних задач. У випадку визначення максимальної кількості критеріїв достовірність отриманих результатів значно зростає [5, 6].

Тому вдалий розв'язок задачі ідентифікації КО за результатами його фотометричних спостережень можливий лише за умови максимального використання вищезазначених критеріїв ідентифікації.

Експеримент

Для вирішення задачі ідентифікації КА залучаються національні оптичні засоби спостереження, за допомогою яких проводяться комплексні позиційні та фотометричні спостереження.

На базі Лабораторії космічних досліджень Державного вищого навчального закладу «Ужгородський національний університет» (ДВНЗ УжНУ) створений апаратний комплекс для проведення позиційних та фотометричних спостережень КА різних типів. Основними пристроями для фотометричних спостережень за КО, які знаходяться на низьких орбітах є супутникова камера «АФУ-75» та телескоп «ТПЛ-1М». Для проведення фотометричних спостережень КА, які знаходяться на геостационарній орбіті, використовуються телескопи «Takahashi BRC-250M» та «ЧВ-400» [1].

В Астрономічній обсерваторії Одеського національного університету (АО ОНУ) фотометрія КО на геостационарній орбіті проводиться за допомогою класичного телескопу системи Касегрена «МТО-500» [2].

Нижче, на рисунках 1-13, наведені записи потоків світла відбитого (розсіяного) від поверхні окремих КО, побудовані за результатами їх фотометричних спостережень у фільтрах B,V,R (синя, жовто-зелена та червона ділянки спектру), та зроблені певні висновки (припущення) про фізичні і динамічні характеристики цих об'єктів, отримані в результаті наступного детального аналізу кривих їх блиску.

На рисунках 1-2 наведені криві блиску геостационарного КА № 1, які отримані у трьох фільтрах. Спостереження цього КА проводились у різні дати, коли він знаходився західніше України (9.83° сх.д.) – рис.1, та після його переміщення в східному напрямку у точку стояння (32.45° сх.д.) – рис.2. В новій точці стояння радіоантени КА № 1 були спрямовані до пункту спостереження, тому спостерігався максимум їх геометричних розмірів.

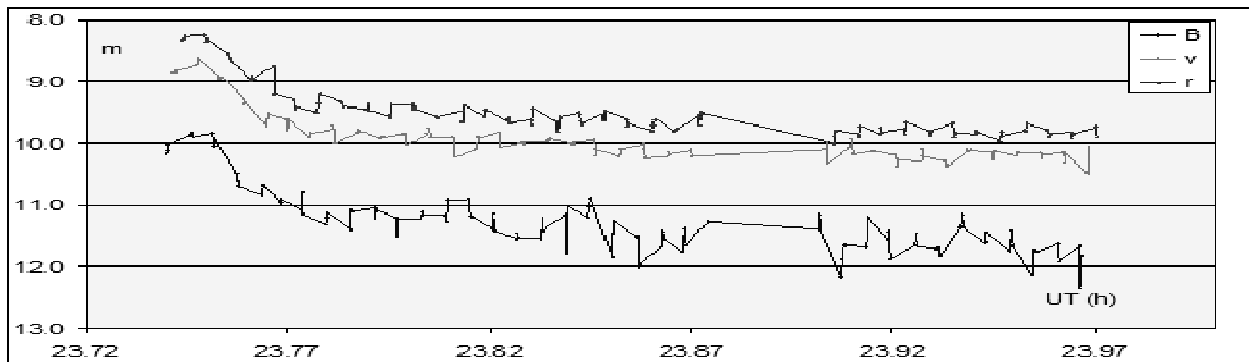


Рис. 1 – Криві блиску КА № 1 у фільтрах B,V,R отримано 30.09.2016

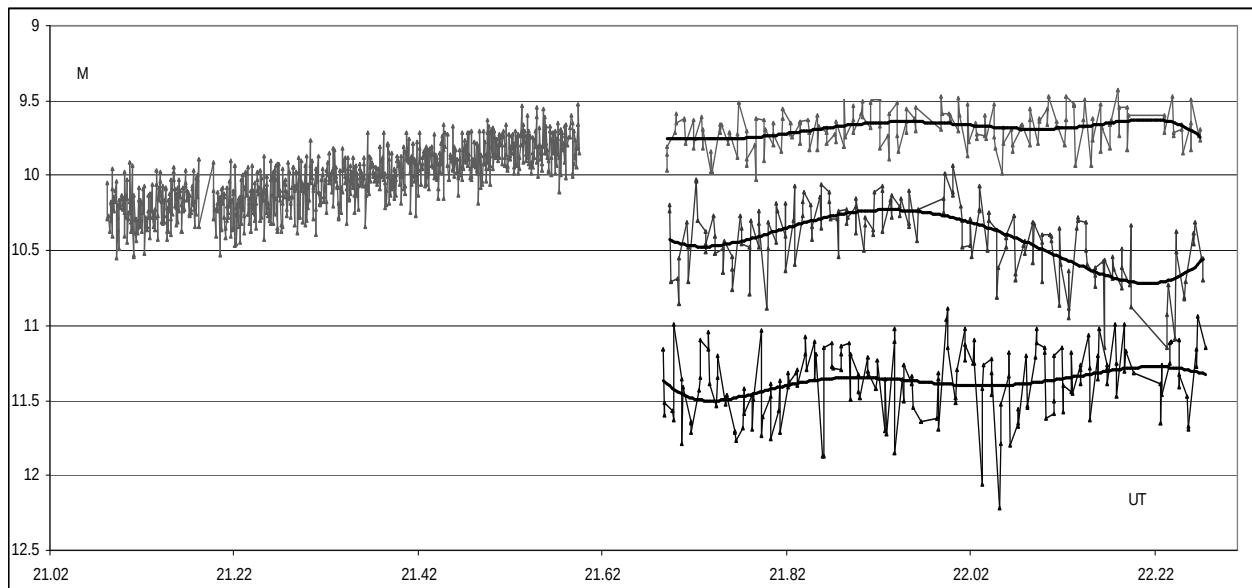


Рис. 2 – Криві блиску КА № 1 у фільтрах B,V,R, отримано 15.08.2017

В першому випадку, у відбитому від КА випромінюванні переважає червона складова спектру, що пов'язано із розсіюванням світла зовнішньою поверхнею більшої з радіоантен, а у другому випадку переважає жовта складова спектру, яка пов'язана з розсіюванням світла від внутрішньої поверхні радіоантени. Це, скоріш за все, пояснюється тим, що зовнішня та внутрішня поверхні радіоантени покриті матеріалами з різними коефіцієнтами відбивання та поглинання світла.

Розсіяне світло від сонячних батарей КА краще проявляється у синій складовій спектру. Це зумовлено оптичними особливостями захисних плівок панелей сонячних батарей (ПСБ). Спостереження флуктуацій світла у синій складовій дозволяє судити про автономний рух панелей відносно корпусу КА.

В даному випадку за результатами спостережень в кількох фільтрах виявлено, що КА здійснює коливальні рухи з періодом 9.6 хвилин навколо вісі, яка співпадала з напрямком руху КА по орбіті. І під час видимого переміщення по орбіті, і в новій точці стояння цей КА перебував у робочому режимі.



Рис. 3 – Ймовірний вигляд КА №1

В цілому, за результатами фотометричних спостережень, КА № 1 був ідентифікований як геостационарний КА, з двома панелями сонячних батарей, одною основною радіоантеною, розміром більше 20 метрів, двома антенами меншого розміру. На момент останніх спостережень КА був

застабілізований. Ймовірний вигляд цього КА наведено на рис. 3.

На рисунку 4 наведено криві блиску КА № 2. 3

них видно, що об'єкт в робочому стані, не має власного обертання і рухомих деталей на поверхні. Ймовірний вигляд цього КА наведено на рис. 5.

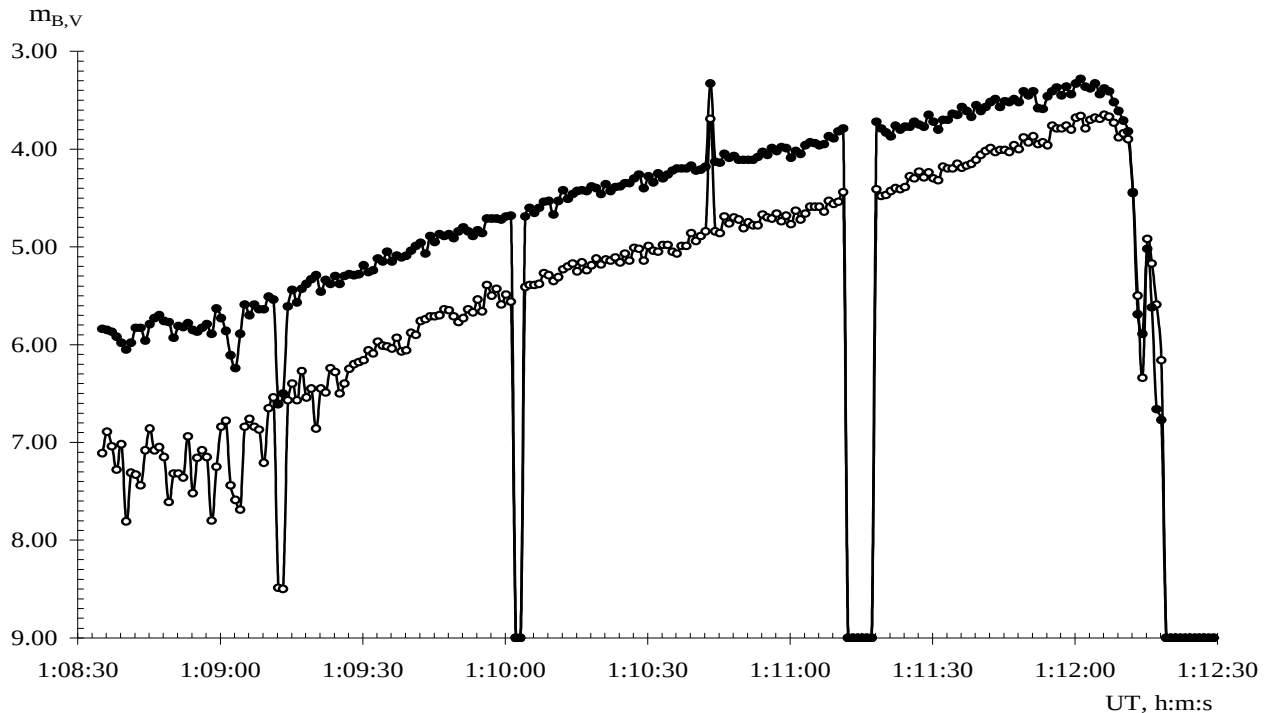


Рис. 4 – Криві блиску КА № 2 у фільтрах В, V, отримані 18.05.2017



Рис.5 – Ймовірний вигляд КА № 2

На рисунку 6 наведено криві блиску КА № 3. З них видно, що об'єкт теж в робочому стані, але на фоні переважаючої синьої складової спектру сонячного світла, яке відбивається від ПСБ, в максимумі блиску (центральна частина кривої) спостерігаються слабкі періодичні зміни з періодом 12 секунд, які пов'язані з регулярним рухом деякої конструкції на корпусі КА розташованій перед ПСБ, зумовлюючи їх затінення в певні моменти часу. З великою долею ймовірності можна припустити, що виявлена конструкція може бути радіоантенною радіолокатора бокового огляду.

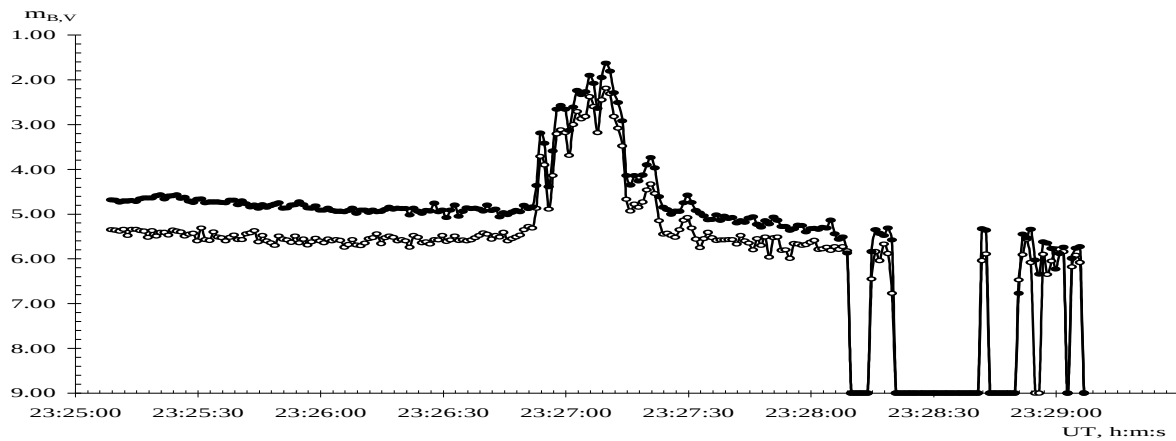


Рис.6 – Криві блиску КА № 3 у фільтрах В, V, отримані 1.07.2017



Рис.7 – Ймовірний вигляд КА № 3

В цілому, за результатами фотометричних спостережень, КА № 3 був ідентифікований як КО, який знаходиться на низькій орбіті, має циліндричну форму, хрестоподібну радіоантену в торці корпусу, дві ПСБ, зовнішню конструкцію (пристрій), яка обертається у нижній частині корпусу. Ймовірний вигляд КА наведено на рис. 7.

КА № 3 на всі моменти наших спостережень був стабілізований. Тому можна стверджувати, що він знаходиться у робочому стані. Хоча, за інформацією з відкритих джерел, даний КА позиціонується як непрацездатний.

На рисунках 8 і 9 видно, що КА № 4 та КА № 5 теж знаходяться в стабілізованому стані та цілком ймовірно працездатні. Додатково, на КА № 5 було виявлено обертання окремих деталей з періодом у 83 секунди. За характером зміни блиску та обертання даної конструкції найбільш ймовірно, що це хрестоподібна радіоантена. Дані висновки співпадають із зовнішнім виглядом цього КА. Ймовірний вигляд цих КА наведено на рис. 10 і 11.

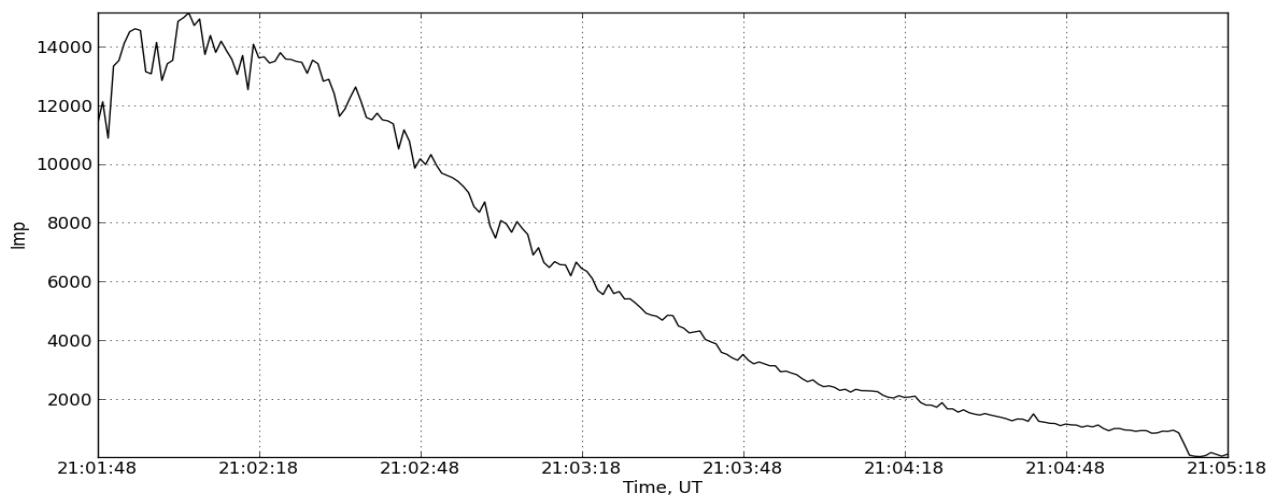


Рис. 8 – Крива блиску КА № 4 у фільтрі В, отримана 28.05.2017

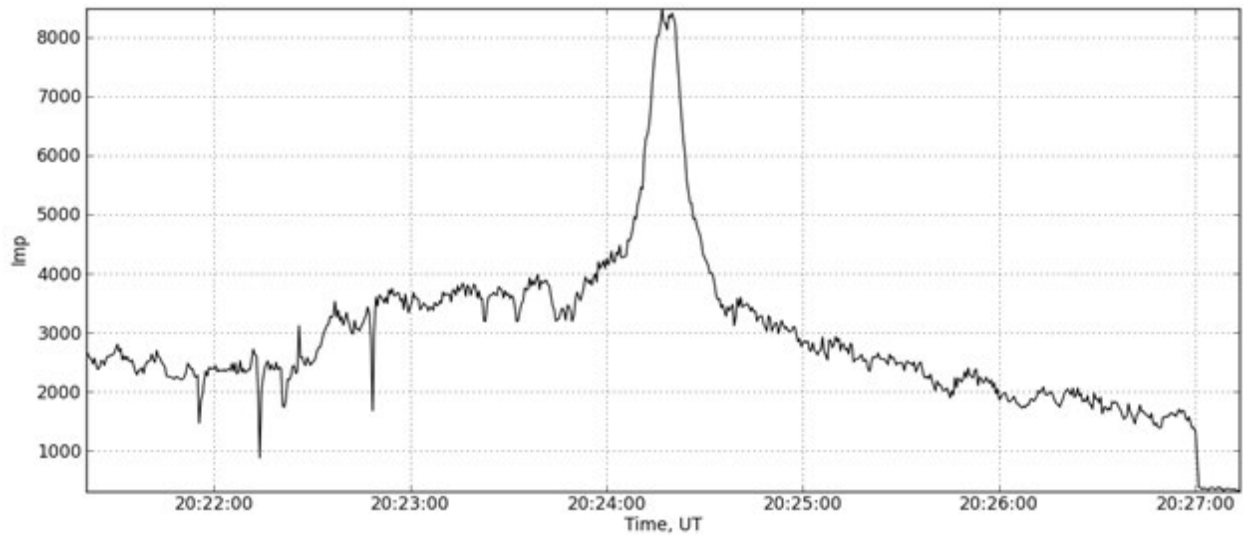


Рис. 9 – Крива блиску КА № 5 у фільтрі V, отримана 18.05.2017

На рисунках 12 і 13 видно, що КА № 6 і КА № 7 на момент спостережень, були у дестабілізованому стані, хаотично обертались

навколо власних осей. Цей факт дає підставу стверджувати, що вони дестабілізовані та непрацездатні.



Рис. 11 – Ймовірний вигляд КА № 5



Рис. 10 – Ймовірний вигляд КА № 4

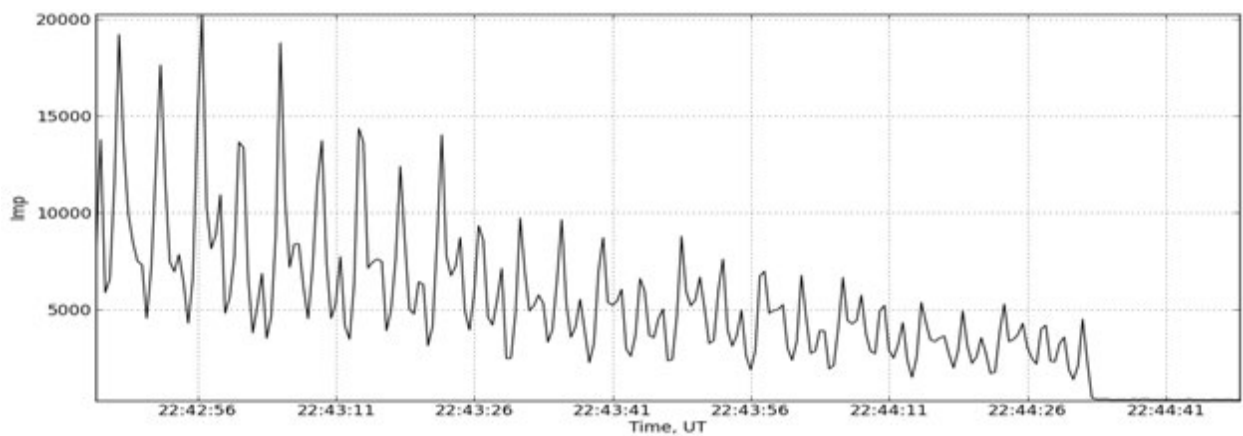


Рис. 12 – Крива блиску КА № 6 у фільтрі R, отримана 16.05.2017

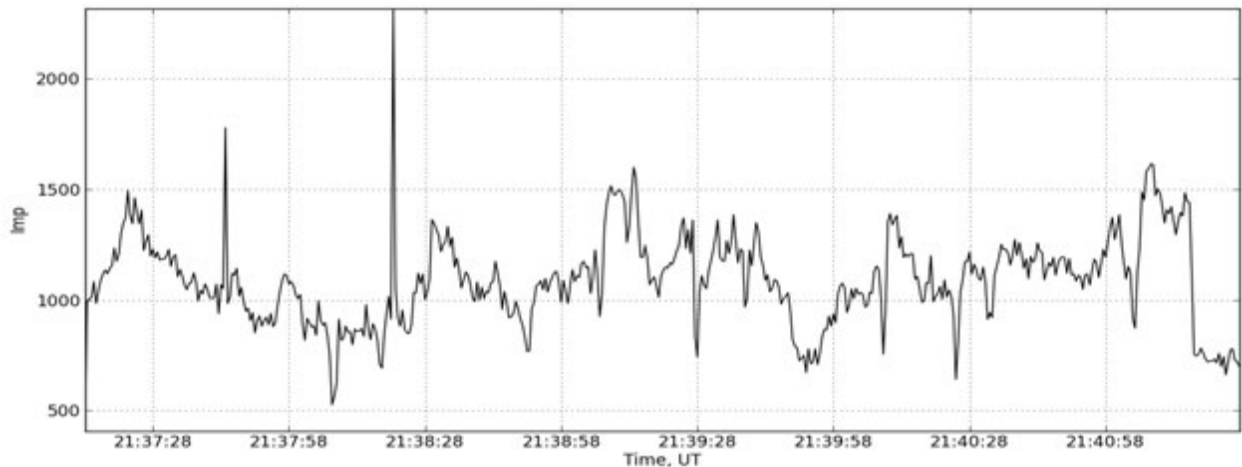


Рис. 13 – Крива блиску КА № 7 у фільтрі В, отримана 15.06.2017

Висновки

На даний час, позиційні та фотометричні спостереження проводяться в інтересах контролю та аналізу космічної обстановки, з метою ведення головного каталогу КО, поповнення класифікатора діючих КА та зонального каталогу геостационарних КА.

Особлива увага, на даний час, приділяється спостереженням КА для яких повністю або частково відсутня некоординатна інформація у відкритих джерелах. Під час комплексних спостережень визначається просторове положення КА, орієнтація, технічний стан, оцінюються можливості та тенденції застосування КА за призначенням.

Залучення до виконання задач з контролю космічного простору існуючих національних оптико-електронних засобів спостереження за КО, які використовують апробовані астрофізичні та математичні методи обробки позиційних та

фотометричних спостережень, дозволяє визначати орбітальні та фізичні характеристики КА, для яких відсутня некоординатна інформація.

Україна має великий досвід та напрацювання у напрямку проведення фотометричних спостережень на інтерпретації фотометричних даних, має величезну базу даних кривих блиску, яка представляє велику комерційну цінність, оскільки архівна або поточна інформація щодо поведінки конкретних КА на орбітах може бути потрібна стороннім зацікавленим замовникам.

Слід зазначити, що перспективність та актуальність даного напрямку, за останні десять років, визнали США, Польща та багато інших розвинутих країн світу.

Залучення національних оптичних засобів спостереження до виконання задач контролю космічного простору дозволяє ЦККП мати власні достовірні джерела некоординатної інформації по КО, що суттєво розширює функціональні можливості центру.

Список літератури

1. Kudak V. I., Epishev V. P., Perig V. M., Naibauer I. F. Determining orientation and spin period of TOPEX/Poseidon satellite by photometry method: *Astrophysical Bulletin*, vol.72, iss 3, pp.340-34, 2017.
2. Сухов П.П., Епишев В.П., Сухов К.П., Карпенко Г.Ф., Мотрунич И.И. Результаты комплексных исследований функционирования на орбите геосинхронного спутника «Sbirs-Geo-2»: *Космична наука і технологія* Т. 23. № 1 2017 ISSN 1561-8889, 2017.
3. П.П. Сухов, Р.А. Чайчук. Светодиодный эталон яркости. *Новая техника в астрономии: АН СССР*, с. 20-23., 1984.
4. Корнилов В.Г., Волков И.М. и др. Каталог WBVR-величин ярких звезд северного неба: *Труды ГАИШ*. Т. 63, М., 400с, 1991.
5. Епишев В.П. Определение ориентации ИНТ в пространстве по их зеркальному отражению: *Астрометрия и астрофизика АН УССР*, С.89-93. 1986.
6. Северный С.А., Смирнов М.А., Багров А.В. Определение формы искусственного спутника Земли по фотометрическим наблюдениям: *Научные информации Вып.58*. с. 103-106. 1986.

References:

1. Kudak V. I., Epishev V. P., Perig V. M., Naibauer I. F. Determining orientation and spin period of TOPEX/Poseidon satellite by photometry method: *Astrophysical Bulletin*, vol.72, iss 3, pp.340-34, 2017.
2. Sukhov PP, Epishev VP, Sukhov KP, Karpenko GF, Motrunich II The results of complex studies of the functioning of the geosynchronous satellite "Sbirs-Geo-2" in orbit: *Cosmic Science and Technology* Vol. 23. № 1 2017 ISSN 1561-8889, 2017.
3. P.P. Sukhov, R.A. Chaychuk. LED brightness standard. *New technology in astronomy: Academy of Science USSR*, pp. 20-23., 1984.
4. Kornilov V.G., Volkov I.M. and other catalog of WBVR-magnitudes of bright stars of the northern sky: *Work GAISH*. Vol. 63, М., 400 p, 1991.

5. Epishev V.P. *Determination of the INT orientation in space according to their specular reflection: Astrometry and astrophysics of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, pp.89-93. 1986.

6. Severny SA, Smirnov MA, Bagrov AV *Determination of the shape of an artificial Earth satellite from photometric observations: Scientific information Vol.58. pp. 103-106. 1986.*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Епишев В.П., Мотрунич И.И., Найбауер И.Ф., Кудак В.И., Периг В.Н., Москаленко С.С.,
Сухов П.П., Сухов К.П.

Рассмотрены возможности идентификации низко- и высокоорбитальных космических объектов (КО) на основании результатов их комплексных (позиционных и фотометрических) наблюдений. Проанализированы критерии отождествления неизвестных космических аппаратов (КА) путем изучения характера их поведения на орбите. Приведены данные исследований отдельных низко- и высокоорбитальных искусственных небесных тел (ИНТ).

Ключевые слова: наблюдения, позиционные, фотометрические, колориметрические, поляризационные, изменение блеска, вариации блеска, кривая блеска, отождествление, идентификация.

IDENTIFICATION OF SPACE OBJECTS ACCORDING TO THEIR PHOTOMETRIC FEATURES

Epishev V.P., Motrunich I.I., Kudak V.I., Perig V.N., Moskalenko S.S., Sukhov P.P. Sukhov K.P.

According to results of complex observations, including positional and photometric ones, the work for photometric data interpretation of Low Earth orbit, High Earth orbit or Geosynchronous Earth orbit space objects has been conducted. Besides, the space objects identification possibilities have been considered. The criterions of unknown space objects identification are analyzed and the results of their behaviors in orbit are given within the article.

Keywords: observations, position, photometric, colorimetric, polarization, light variation, variations of light, light curve, authentication, identification.

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.396

Гриб Д. А., Костенко І. Л., Воронов Д. М.

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ПИТАННЯ ЩОДО ЗАХИСТУ КАНАЛУ УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНИМИ
ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА

Розглянуті найбільш проблемні питання при створенні захищеного каналу управління безпілотними літальними апаратами вітчизняного виробництва та можливі шляхи їх вирішення.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, інформація, захищений канал управління, дрон, пакет даних

Вступ

Постановка проблеми. Використання безпілотних літальних апаратів при веденні спостереження та розвідки важливих об'єктів стало невід'ємною частиною підготовки та ведення дій у військових конфліктах. Однак при всіх перевагах використання цього типу техніки, в неї є серйозний недолік – слабкий захист радіоканалу управління від перехоплення та «зламу». Як показала практика використання БпЛА в реальних умовах експлуатації, це одне з найслабкіших уразливих місць в системі управління БпЛА. Під час виконання завдання за призначенням, все частіше використання незахищеного або недостатньо захищеного каналу управління БпЛА, призводить до зриву виконання поставленого завдання або втрати БпЛА. Тому створення захищеного каналу управління БпЛА є найважливішою задачею при створенні комплексів відеоспостереження.

Питаннями створення надійного, захищеного каналу управління БпЛА займаються фахівці усіх високо-технічно розвинених країн світу.

Таким чином, створення захищеного каналу управління БпЛА є найважливішою та актуальною науково-технічною задачею при створенні комплексів відеоспостереження.

Аналіз літератури. Аналіз існуючих робіт [2] та експериментальних даних [3-5] тощо, які присвячені питанням захисту від «зламу» радіоканалів управління безпілотними літальними апаратами показує, що проблема створення надійного каналу управління БпЛА є дуже актуальною та складною.

Мета статті. Розробка шляхів захисту каналу управління безпілотними літальними апаратами вітчизняного виробництва та пропозицій щодо використання бортового обладнання для створення захищеного каналу управління безпілотними літальними апаратами.

Основний матеріал

Одним з найбільш важливих та проблемних питань при створенні та експлуатації безпілотних літальних апаратів (БпЛА) вітчизняного

виробництва є питання захисту каналу управління БпЛА. Він, як показала практика використання БпЛА в реальних умовах експлуатації, є одним з найслабкіших уразливих місць в системі управління БпЛА. Так, під час виконання завдання за призначенням, все частіше використання незахищеного або недостатньо захищеного каналу управління БпЛА, призводить до зриву виконання поставленого завдання або втрати БпЛА.



Рис. 1. – «Ручний Ворон», БпЛА ЗС України RQ-11B «Raven»

Як стало відомо, у грудні 2016 року, на території окремих райорах Донецької області була проведена спроба перехоплення радіоканалу управління безпілотним літальним апаратом RQ-11B «Raven». Про це повідомило відоме інформаційне агентство «Reuters». Радіоканал управління дроном був проаналізований силами радіоелектронної боротьби (РЕБ) супротивника, а потім дубльований з боку засобів РЕБ, але вже з абсолютно іншими «пакетами» команд, за допомогою яких «Рейвен» благополучно посадили на територію, невідконтрольній Україні.

Як заявляє «Reuters» з посиланням на українські джерела, БпЛА типу RQ-11B «Raven» комплектуються аналоговими модулями радіоуправління, які дуже легко піддаються зламу пакетів даних з різними радіокомандами, через що і відбуваються подібні випадки. Адже всі ми чудово ознайомлені з більш «зухвалими» прикладами перехоплення управління і посадки більш досконалих і великих розвідувальних БпЛА регіональної розвідки, до яких відноситься RQ-170 «Sentinel» від компанії «Lockheed Martin». Як відомо, управління цією машиною, з довжиною

4,5 м і розмахом крила 20 м, здійснюється через складні цифрові радіоканали управління з використанням псевдовипадкової перебудови робочої частоти (з частотою перебудови до десятків кГц), а також різних методик скремблювання каналів телеметричної і радіокомандної інформації. Проте, навіть суперсекретний і “нафарширований” передовою елементною базою “Sentinel” був “посаджений” засобами іранської РЕБ в східній частині Ісламської Республіки Іран (далі ІРІ) ще 6 років тому, в грудні 2011 року.

Як запевняють джерела в Генштабі ІРІ, оператори засобів іранської РЕБ змогли отримати контроль над системами управління американським безпілотником завдяки аналізу, копіювання і підміні інформаційних “пакетів” GPS-радіоканалу управління, випромінюваного антенними установками на одній з авіабаз або військових таборів США в Західному Афганістані. Виглядає така методика вкрай вкрай неправдоподібно, оскільки відомо, що управління БпЛА такого класу, як “Sentinel” проводиться далеко не за прямим радіоканалом в межах радіогоризонта, а по спеціалізованому GPS-каналу з супутника. При цьому, канал використовує виключно точно спрямовані антени, встановлені на верхній частині фюзеляжу БпЛА, спрямовані в верхню півсферу. Автоматично виникає питання: як їм це вдалося?

Найбільш правдоподібною є версія з застосуванням модернізованих GPS-спуферів – портативних передавачів радіосигналу з частотами 1227,6 МГц і 1575,42 МГц (саме на цих частотах працюють всі приймальні GPS-пристрої дронів як цивільного, так і військового секторів, останні часто оснащуються модулями кодування радіосигналу).



Рис. 2. – Американський БпЛА RQ-170, що був перехоплений іранськими засобами РЕБ

Дані передавачі здійснюють так звану “spoofing”-атаку на приймальний GPS-модуль того чи іншого юніта (дрон, корабель, наземний безпілотний бойовий засіб), яка повільно відхиляє його від заданої траєкторії методом передачі помилкових даних про місце розташування в просторі. Змусити слідувати помилковими координатами GPS-пристрій цивільного призначення зі стандартною всеспрямованою антеною набагато простіше, ніж юніт з точно спрямованою антенною установкою. Для впливу

на останню часто необхідний не тільки більш потужний підсилювач L-діапазону дециметрових хвиль, в якому лежить два основні канали роботи GPS, але верхнє розташування радіосигналу, що випромінює помилковий GPS-спуфер, що може зажадати використання використання більш висотного дрона або спеціалізованого літака радіоелектронної розвідки та РЕБ, що виступає в цій зв'язці провідною машиною. Це дозволить створити більш потужний помилковий сигнал на прийомну антену GPS, яка “дивиться” в верхню півсферу розвідувального БпЛА противника. Іран цілком міг задіяти власні літаки РЕБ, оснащені сучасним китайським “залізом”, включаючи GPS-спуфери, для перехоплення управління над “Сентінелом”.

З огляду на те, що управління над американським RQ-170 було перехоплено над західними прикордонними територіями Афганістану і східним Іраном, існує й інший варіант того, що сталося, пов'язаний з сприятливим рельєфом місцевості. Східний Іран має безліч гірських хребтів з вершинами від 2800 до 4000 метрів, і розгортання в цій місцевості GPS-спуферів в кілька десятків разів підвищує імовірність вдалого придушення супутникового GPS-каналу хибним каналом, випромінюваних безпосередньо спуфером з потужним підсилювачем, оскільки антена комплексу, що перехоплює, розташовується на кілька кілометрів ближче до дрону противника.

Як розглянуто вище, існує проблема захисту каналу управління БпЛА, а також прийому та розпізнавання сигналу GPS, як основного датчика координат при відсутності сигналу управління передавача в умовах радіоелектронного подавлення сигналів управління і GPS і спробах імітувати хибні сигнали передавача та (або) GPS сигналу. Це вказує на недостатню імітостійкість каналу управління БпЛА, що дозволяє противнику зімітувати хибні сигнали управління БпЛА, корегуючи та отримуючи потрібний йому курс БпЛА з метою посадки на території, невідконтрольній Україні або зриву задачі, що виконує БпЛА.

Найбільш продвинуті характеристики по «зламу» радіоканалів БпЛА на сьогодні має комплекс радіоелектронної боротьби «Шиповник-АЕРО» російського виробництва (рис. 3). Даний юніт здатен виконати: радіоелектронну розвідку на предмет наявності радіоканалів управління БпЛА, аналіз цих радіоканалів (включаючи витяг пакетів даних з командами управління та зворотної телеметричної інформацією), повні “спуфінг” - атаки на дрони з використанням каналу подавлення радіонавігаційної системи GPS для всіх видів споживачів. Велика кількість різних типів антенних установок дозволяє найбільш точно визначити джерела радіоканалів управління БпЛА в діапазоні від 25 до 2500 МГц. Для подавлення радіоканалів управління дронами «Шиповник-АЕРО» має 4 діапазони випромінювання радіоелектронних перешкод протидії та корекції: 0,025 - 0,08 ГГц, 0,4 - 0,5 ГГц, 0,8 - 0,925 ГГц, а також 2,4 - 2,485 ГГц.



Рис. 3. – Комплекс радіоелектронної боротьби «Шиповник-АЕРО»

Таким чином, задача підвищення імітостійкості каналу управління БПЛА стає найважливішою серед інших питань.

При вирішенні питань захисту каналу управління БПЛА потрібне підвищення імітостійкості каналу управління БПЛА до необхідного рівня, як основного способу боротьби проти нав'язування імітованих хибних сигналів управління. Розглянемо основні методи та способи вирішення цього питання.

Серед основних способів (методів) підвищення імітостійкості каналу управління БПЛА слід виділити:

- при формуванні командних посилок захищених каналів управління та їх за шифруванні, слід використовувати складні коди, маркери, часові мітки, контрольні суми для забезпечення потрібної стійкості каналу управління, забезпечення розпізнавання сигналу «свого» або «чужого» передавача;

- при передачі командних посилок захищених каналів управління використовувати складні сигнали та методи передачі сигналів, такі, як псевдовипадкове перестроювання робочої частоти, ширококутові шумоподібні сигнали.

Для оптимізації роботи та підвищення надійності системи управління БПЛА рекомендується:

- покращення, ускладнення та оптимізація алгоритму роботи автопілоту;
- нарощування обчислювальної потужності процесору автопілоту;
- збільшення числа та якості зовнішніх датчиків;
- обов'язково використання інерціальної системи навігації з покращеними точностними характеристиками;
- введення режиму навігації в умовах повної «сліпоті» по розпізнаванню місцевості шляхом зв'язки фото, відео, з електронною картою місцевості.

Список літератури:

1. Валерий Ипатов. Широкополосные системы и кодовое разделение каналов. Принципы и приложения. М.: «Техносфера», Мир связи. - 2007. – 488с.
2. <https://xakep.ru/2012/01/19/58149/>
3. http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vvs/reb_spn-4.html
4. <http://radiolubitel.net/index.php/obzory-ustrojstv/341-radioskaner-sdr-priemnik-iz-usb-tv-tyunera-rtl2832u-r820t>
5. <https://informnapalm.org/25187-rossijskij-kompleks-shipovnik-aero-v-tsentre-donetska/>

References

1. Valerij Ipatov. Wideband systems and code division of channels. Principles and applications. -M.: «Technosphere», The communication world. - 2007. – 488p.
2. <https://xakep.ru/2012/01/19/58149/>
3. http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vvs/reb_spn-4.html
4. <http://radiolubitel.net/index.php/obzory-ustrojstv/341-radioskaner-sdr-priemnik-iz-usb-tv-tyunera-rtl2832u-r820t>
5. <https://informnapalm.org/25187-rossijskij-kompleks-shipovnik-aero-v-tsentre-donetska/>

ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Д.А. Гриб, И.Л. Костенко, Д.Н. Воронов

Рассмотрены наиболее проблемные вопросы при создании защищенного канала управления беспилотными летательными аппаратами отечественного производства и возможные пути их решения.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, информация, защищенный канал управления, дрон, пакет данных

QUESTIONS FOR PROTECTION OF THE CONTROL CHANNEL OF UNMANNED AIRCRAFT OF DOMESTIC PRODUCTION

D.A. Gryb, I.L. Kostenko, D.M. Voronov

The most problematic questions are considered at creation of the protected channel of control of unmanned aircraft of domestic production and possible ways of their solution.

Keywords: unmanned aerial vehicle, information, protected control channel, drone, data packet.

УДК 681.51

Коломійцев О. В., Кулагін К. К., Мегельбей В. В., Нос І. А., Філіппенков О. В.
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

БАГАТОПАРАМЕТРИЧНА ОДНОПУНКТНА СИСТЕМА ЗОВНІШНЬО-ТРАЄКТОРНИХ ВИМІРЮВАНЬ РАКЕТ-НОСІЇВ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

Розроблені пропозиції щодо створення багатопараметричної однопунктної системи (БОС) зовнішньо-траєкторних вимірювань (ЗТВ) ракет-носіїв (РН) космічних апаратів (КА), що здійснюють старт з морської платформи, яка знаходиться на екваторіальній зоні. Невеликі ваго-габаритні характеристики системи та висока точність ЗТВ РН КА досягається за рахунок використання частот міжмодових биттів єдиного лазера-передавача та частотно-часового методу (ЧЧМ) вимірювання. Селекція комбінацій подовжніх мод зі спектру одномодового багаточастотного з синхронізацією подовжніх мод лазерного випромінювання (ЛВ) та їх сканування у вигляді 4-х парціальних діаграм направленості (ДН) на приймальному боці системи за відбитими від РН КА сигналами дозволяє здійснювати одночасне вимірювання 6-ти параметрів руху (ПР) РН КА. Запропонована функціональна схема багатопараметричної системи ЗТВ РН КА та розкрита сутність її роботи. Отримані аналітичні вирази для розрахунку точності ЗТВ РН КА.

Ключові слова: багатопараметрична однопунктна система, зовнішньо-траєкторні вимірювання, ракета-носій, космічний апарат, лазерне випромінювання, діаграма спрямованості.

Вступ

Постановка проблеми. Створення і експлуатація ракетно-космічного комплексу «Морський старт» є одним з прикладів плідної міжнародної співпраці компаній і підприємств США, Росії, Норвегії і України в області ракетної техніки. Цей проект не має аналогів у світі. Він відкрив нову сторінку в ракетно-космічній техніці.

В основу проекту «Морський старт» покладені технічні напрацювання і дослідження, проведені ракетно-космічною корпорацією «Енергія» спільно з ДКБ «Південне» ім. М.К. Янгеля та іншими підприємствами ракетно-космічної техніки.

Вибір схеми та структури контролю і управління польотом РН КА за програмою «Морський старт» здійснювався за рахунок [1]:

- багаторічного досвіду розвитку ракетно-космічної галузі, що мається, за контролем і управлінням польотом розгінних блоків (РБ) при запусках РН «Протон» з космодрому Байконур з різними корисними навантаженнями, що виводяться на геостационарні, високоеліптичні і інші орбіти [2];
- специфіки підготовки РН «Зенит-3SL» у Базовому порту м. Лос-Анджелеса (США) та старт РН з стартової платформи з акваторії Тихого океану з повною відсутністю стаціонарних комунікаційних засобів в стартовому районі;
- балістичної схеми польоту РН КА;
- об'єднання технічних засобів контролю і управління польотом на складально-командному судні (СКС) комплексу у рамках автоматизованої системи управління польотом (АСУП) РБ.

Балістична схема польоту РН КА являє собою ділянки польоту, що послідовно спрягаються [3]:

- виведення РБ ДМ-SL з КА – блоком корисного вантажу (БКВ) РН «Зенит-3SL» на проміжну орбіту;
- двохімпульсний маневр РБ ДМ-SL з

виведенням БКВ на проміжну, а потім на високоеліптичну геоперехідну орбіту (ГСО);

- відділення БКВ від РБ і виведення КА на цільову орбіту (геостационарну) за допомогою власної рухової установки КА.

Однією з основних задач, що вирішується плавучим командно-вимірювальним комплексом є отримання і обробка траєкторної інформації (ЗТВ) про рух РБ (до відділення КА траєкторні дані поступають в центр керування польотом у складі телеметрії із СКС і за схемою зв'язку Sea Launch через TDRSS, а після відділення КА – у складі телеметрії із станцій стеження).

При цьому, вимірювальними параметрами руху РН КА є дальність та радіальна швидкість. Апаратні похибки вимірювання на дальності до ГСО складають – не більше 10 м за дальністю та 0,1 м/с за радіальною швидкістю.

Таким чином, збільшення кількості параметрів руху РН КА, що вимірюються, а також отримання інформації про ЗТВ з високою точністю – є актуальна науково-технічна задача, яку необхідно вирішувати.

Аналіз літератури. Аналіз відомої літератури та довідкової інформації в мережі інтернет [1 – 13], які присвячені питанням за програмою «Морського старту» та побудові високоточних систем ЗТВ показує, що необхідне та можливе створення однопунктної системи, яка дозволить здійснювати одночасне вимірювання з високою точністю 6-ти ПР РН КА і автоматичне супроводження.

Мета статті. Розробка пропозицій щодо створення багатопараметричної однопунктної системи, яка забезпечить ЗТВ РН КА (вимірювання з високою точністю 6-ти ПР) за програмою «Морський старт».

Основний матеріал

Технологія підготовки і пуску РН «Зенит-3SL» є наступною. У базовому порту здійснюється вантаження на СКС складових частин ракети, БКН і палива. Зібрана ракета переміщається в ангар

стартової платформи, де готується до старту.

СКС з командою і екіпажем відходить на відстань 5-8 км. Системи судна та платформи забезпечують дистанційне автоматичне здійснення пуску РН КА.

Ракетно-космічний комплекс «Морський старт» складається з наступних основних частин.

Ракетний сегмент:

- комплекс ракети космічного призначення "Зенит-3SL";
- комплекс автоматизованих систем управління підготовкою і пуском;
- автоматизована система управління польотом розгінного блоку;
- вимірювальний комплекс (рис. 1).

Сегмент космічного апарату:

- блок корисного вантажу з космічним апаратом. Морський сегмент (рис. 2):
- стартова платформа "Odyssey";
- складально-командне судно "Sea Launch Commander".

Базовий порт:

- приміщення підготовки блоку корисного вантажу;
- приміщення зберігання східців ракеты-носія і розгінних блоків;
- офісні і допоміжні приміщення.

Кошти, що залучаються :

- центр управління польотом розгінного блоку;
- центр управління польотом космічного апарату;
- супутники-ретранслятори, вимірювальні пункти та ін.



Рис. 1 – Зовнішній вигляд антен ВБ162 та АУ СМ391А на СКС



Рис. 2 – Морський сегмент: СКС Sea Launch Commander та стартова платформа Odyssey

Зовнішньо-траєкторні вимірювання необхідні для визначення параметрів траєкторій літальних апаратів (ЛА) (різних класів і призначення) – координат, вектору швидкості, кутового положення в просторі та ін. Для забезпечення ЗТВ використовуються радіотехнічні (радіолокатори, фазові пеленгатори, радіодалекоміри) та оптичні (кінотеодоліти, кінотелескопи, лазерні далекоміри) засоби. Оптичні засоби ЗТВ мають високу точність, але застосування їх обмежене метеоумовами. Радіотехнічні засоби, поступаючи оптичним в точності, але незалежні від метеоумов, мають безліч модифікацій та широко використовуються [6, 7].

Сучасні засоби ЗТВ характеризуються багатопараметричністю (вимірюються не лише координати, але і складові вектору швидкості, різниці координат, тощо). багатоканальністю (забезпечуються одним засобом вимірювання параметрів одночасно декілька ЛА), великою дальністю дії, високими точністю, надійністю, а також мірою автоматизації, що дозволяє обробляти дані на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ) і отримувати параметри траєкторії ЛА в реальному масштабі часу. Розміщення радіотехнічних і оптичних засобів ЗТВ, в основному, здійснюється на землі та у різних комбінаціях в залежності від об'єкту випробування.

За результатами проведеного аналізу існуючої літератури і мережі інтернет, а також наукових досягнень за напрямком побудови високоточних систем ЗТВ КА, ЛА і тощо визначено, що провідні країни світу акцентують свою увагу на створенні комбінованих систем (КС), в яких висока точність вимірювання параметрів руху забезпечується завдяки використанню лазерного джерела випромінювання (рис. 3, 4).



Рис. 3 – КС «MARS»



Рис. 4 – КОС «Сажень-ТМ»

На приклад, мобільна однопунктна система «Сажень-ТА» призначена для проведення високоточних ЗТВ та забезпечує виявлення ЛА в денних і нічних умовах, його автоматичне супроводження, вимірювання кутових координат та похилої дальності у видимому і інфрачервоному діапазонах, а також оперативні обробку результатів вимірювання і видачу отриманих даних в канали зв'язку (рис. 5).



Рис. 5 – КОС «Сажень-ТА»

Запропонована багатопараметрична система ЗТВ РН КА, яка складається з основних елементів

(рис. 6):

- ПРМ-ПРД А – приймально-передавальної апаратури, що містить ЛМ – лазерний модуль та OEM – оптико-електронний модуль, який складається з телевізійного і інфрачервоного каналів; ЛМ і OEM одночасно розміщені на ГП – гіростабілізованій платформі (опорно-поворотному пристрої);
- вимірювального блоку, що містить: ПФК – пристрій формування каналів (вимірювальних), канал вимірювання похилої дальності R до РН КА, канал вимірювання радіальної швидкості R' , канал вимірювання кутів азимута α і місця β та кутових швидкостей α' і β' (тангенціальної швидкості U_t), ПФСП – пристрої формування сигналів похибки (по кутам азимута і місця);
- ВМ – виконавчих механізмів по кутах α і β ;
- ЕОМ – електронно-обчислювальної машини.

Оптико-електронний модуль здійснює у видимому та ІЧ діапазонах спостереження за РНКА. Отримана інформація від телевізійного і інфрачервоного каналів поступає на ЕОМ, де додатково використовується для підвищення стійкості супроводження РН КА.

Лазерний модуль виконує наступні функції:

- формує лазерні зондуючі сигнали (комбінації подовжніх мод) зі спектру одномодового багаточастотного з синхронізацією подовжніх мод лазерного випромінювання (ЛВ) у вигляді чотирьох парціальних діаграм спрямованості (ДС);
- здійснює зустрічне сканування парами парціальних ДС ЛВ у кожній з двох ортогональних площин (рис. 7);
- отримує відбиті від РН КА лазерні сигнали та перетворює їх до радіосигналів.

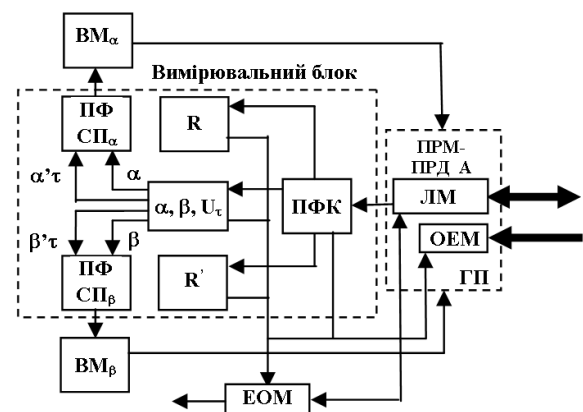


Рис. 5 – Узагальнена блок-схема БОС ЗТВ

Вимірювальний блок розподіляє радіосигнали по вимірювальним каналам, які забезпечують отримання інформації про ЗТВ РН КА (похилу дальність до РНКА, кути азимута і місця, радіальну і кутові (тангенціальну) швидкості), яка поступає на ЕОМ, а також формує сигнали похибки по кутам для їх відпрацювання.

Інформація про кутові швидкості РН КА використовується за прямим призначенням та для компенсації динамічної і флуктуаційної похибок фільтрації при автосупроводженні РН КА.

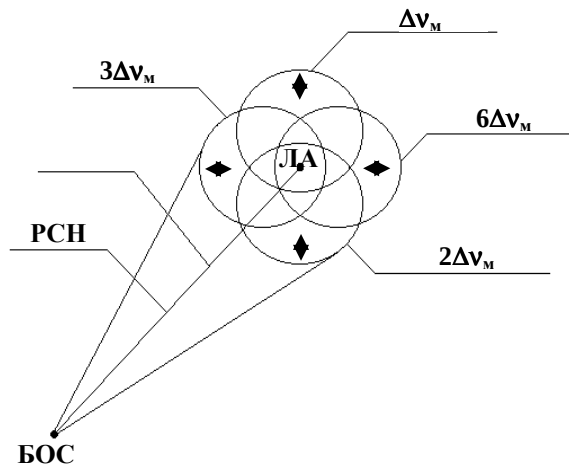


Рис. 7 – Формування 4-х парціальних ДС ЛВ, що перетинаються та створення РСН на РН КА

Виконавчі механізми (ВМ_α і ВМ_β) розвертають платформу, на якій розміщена ПРМ-ПРД А таким чином, щоб РН КА знаходився на рівносигнальному напрямку (РСН) сумарної ДС ЛВ.

Гіростабілізована платформа забезпечує дотримання просторової стабілізації платформи.

ЕОМ оброблює, відображає (за необхідністю), накопичує (зберігає) отриману інформацію про ЗТВ РН КА та передає її до споживачів. Додаткове застосування в ЕОМ алгоритмів реалізації просторової і часової надмірності, а також алгоритмів пошуку і виключення грубих похибок вимірювання параметрів руху РН КА дозволяє отримувати реальну інформацію про ЗТВ з високою швидкістю.

Завдяки використанню зустрічного сканування 4-х парціальних ДС ЛВ у кожній з двох ортогональних площин та еталонних частот міжмодових биттів здійснюється наступне [12, 13]:

– за порівнянням зрушень періодів огинаючих пачок імпульсів частот міжмодових биттів за один повний прохід ДС ЛВ у прямому і зворотному напрямках сканування відносно аналогічних періодів огинаючих у зустрічному напрямку в кожній з двох ортогональних площин – за різницею зрушень періодів огинаючих за допомогою цифрового часо-імпульсного методу вимірювання формуються сигнали похибки за двома вісями координат та визначаються з високою точністю кути азимута і місця, а також величина і знак кута відхилення РН КА від РСН (рис. 8).

Дисперсія похибки кута відхилення РН КА від РСН визначається за формулою:

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{2e\theta_m^2}{q} \quad (1)$$

де

$$\theta_m = \frac{k_{ск} \cdot T_{ск}}{2} \quad (2)$$

– ширина ДС ЛВ,

$k_{ск}$ – швидкість сканування ДС ЛВ,

$T_{ск}$ – час сканування ДС ЛВ,

q – відношення сигнал/шум.

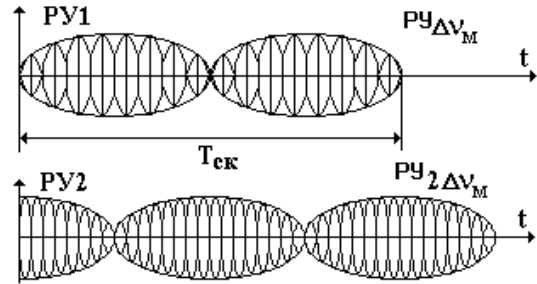


Рис. 8 – Зрушення періодів огинаючих пачок імпульсів частот міжмодових биттів за один повний прохід ДС ЛВ у прямому і зворотному напрямках сканування

За тривалістю напівперіодів огинаючих пачок імпульсів частот міжмодових биттів за один прохід ДС ЛВ у одному напрямку сканування відносно аналогічного напівперіоду огинаючої у зустрічному напрямку у кожній з двох ортогональних площин – за різницею тривалостей огинаючих за допомогою цифрового часо-імпульсного методу вимірювання з високою точністю визначаються кутові швидкості РН КА (рис. 9):

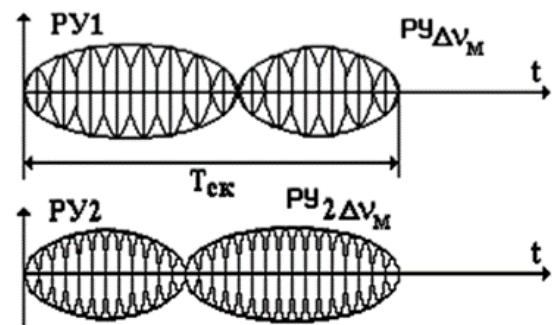


Рис. 9 – Тривалість напівперіодів огинаючих пачок імпульсів частот міжмодових биттів за один прохід ДС ЛВ у одному напрямку сканування

дисперсія похибки вимірювання тангенціальної швидкості РН КА визначається за формулою:

$$\sigma_{v_t}^2 = \frac{e}{2} \cdot \frac{V_{\pi}^2}{q} \quad (3)$$

де

$$V_{\pi} = R\omega_{ск} \quad (4)$$

– лінійна тангенціальна швидкість ДС ЛВ на

дальності R до РНКА (лінійне відхилення РН КА від РСН),

$\omega_{\text{ск}}$ – кутова швидкість сканування парціальними ДС ЛВ.

Дисперсія похибки вимірювання кутової швидкості РН КА визначається за формулою:

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{e}{2} \cdot \frac{\omega_{\text{ск}}^2}{q} \quad (5)$$

При цьому напівперіод сканування ДС ЛВ подовжується тоді, коли швидкість руху РН КА співпадає зі швидкістю руху ДС ЛВ, і коли не співпадає – коротшає.

Завдяки використанню еталонних частот міжмодових биттів, генерації пікосекундних імпульсів (створення "точної" шкали), запізнювання частот міжмодових биттів та формування "бланкуючих" імпульсів (створення «грубої» шкали) – реалізується багатоскальове високоточне вимірювання похилої дальності до РН КА і усувається неоднозначність вимірювань.

Дисперсія похибки вимірювання похилої дальності до РН КА визначається за формулою:

$$\sigma_R^2 = C^2 \cdot \frac{T_{\text{МБ}}}{q} \quad (6)$$

де C – швидкість світла;

$T_{\text{МБ}}$ – період частоти міжмодових биттів.

Завдяки використанню еталонних частот міжмодових биттів і частоти підставки (фазової автопідстройки частоти) – реалізується

доплерівське високоточне вимірювання радіальної швидкості РНКА.

Дисперсія похибки вимірювання радіальної швидкості РН КА визначається за формулою:

$$\sigma_{\dot{R}} = \frac{\sigma_{\Delta v_{\text{М допл}}}}{\Delta v_{\text{М}}} C \quad (7)$$

де $\sigma_{\Delta v_{\text{М допл}}}$ – дисперсія похибки вимірювання частоти Допплера,

$\Delta v_{\text{М}}$ – частота міжмодових биттів.

Висновки

Таким чином, міжнародна програма «Морський старт» реалізовує ідею використання морської платформи для здійснення комерційних космічних запусків з екваторіальної зони Тихого океану. Головною перевагою плавучого космодому є можливість його розміщення безпосередньо на екваторі, що дозволяє максимально використати ефект обертання Землі і з меншими витратами виводити супутники на високі геостационарні орбіти.

Розроблені пропозиції щодо створення багатопараметричної однопунктної системи, яка увійде до складу вимірювального комплексу та забезпечить ЗТВ РН КА (одночасне вимірювання з високою точністю похилої дальності, кутів азимута і місця, радіальної і кутових швидкостей при стійкому кутовому автоматичному супроводженні).

Список літератури

1. Кравець В.Г. Особенности контроля и управления полетом ракеты космического назначения по программе «морской старт» / В.Г. Кравець // Космическая техника и технологии. – 2014. – Вып. № 2 (5). – С. 74 – 86.
2. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королева. На рубеже двух веков. 1996-2001 гг. // Королев: РКК «Энергия», 2001.
3. Бродский И.Э., Кравець В.Г. Особенности связи и обмена информацией при пусках КА с «Морского старта» // Полет. 2000 г. № 3. Статья поступила в редакцию 20.02.2014 г.
4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sea-launch.info/main.htm>.
5. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nkau.gov.ua/nsau/catalogNEW.nsf/proectR/556E2A7EF2DC3090C3256BF8004C1C4C?OpenDocument&Lang=R>.
6. Знаменская А.М. Космические траекторные измерения. – М., 1969.
7. Стрелец В.А. Методы и средства измерения больших длин для метрологического обеспечения систем внешнетраекторных измерений. – Х., 2002.
8. Мобильная однопунктовая система для внешнетраекторных измерений ММКОС «Сажень-ТА». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.npk-spp.ru/deyatelnost/dlya-poligonov/136-sagen-ta.html>.
9. Полігонні лазерні та оптико-електронні вимірювальні засоби: Конспект лекцій. Частина II / С.В. Тюрін, І.С. Шостко, В.А. Романюк, В.В. Пономарьов, Р.В. Павлович. – Х.: ХВУ, 1998. – 174 с.
10. Батраков А.С., Бутусов М.М., Гречка Г.П. и др. Лазерные измерительные системы / Д.П. Лукьянов – М.: Радио и связь. – 1981. – 456 с.
11. Kudriashov V. 'Experimental Evaluation of Opportunity to Improve the Resolution of the Acoustic Maps'. In: Kountchev R. and Nakamatsu K. (eds.), New Approaches in Intelligent Image Analysis, Intelligent Systems Reference Library 108, pp. 353-373. Springer International Publishing Switzerland 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-32192-9_11, SJR: 0.154.
12. Информационные технологии и системы в управлении, образовании, науке. [Коллективная монография]. [А.В. Коломийцев и др.]; под ред. В.С. Пономаренко. – Х.: Цифрова друкарня № 1. – 2013. – 278 с.
13. Патент на корисну модель № 55645, Україна, МПК G01 S 17/42, G01 S 17/66. Частотно-часовий метод пошуку, розпізнавання та вимірювання параметрів руху літального апарату / О.В. Коломийцев – № u201005225; заяв. 29.04.2010; опубл. 27.12.2010; Бюл. № 24. – 14 с.