

УДК 621.396.1

Л.Б. Каневський, ад'юнкт

С.В. Ковбасюк, к.т.н., с.н.с.

Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
Національного авіаційного університету

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВЕДЕННЯ КАТАЛОГУ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ІНФОРМАЦІЄЮ ВІД ВІТЧИЗНЯНИХ ОПТИЧНИХ ЗАСОБІВ

Проведено аналіз проблем при веденні каталогу космічних об'єктів в Україні. Запропоновано підходи до застосування вітчизняних оптичних засобів для розв'язання завдань контролю космічного простору в умовах відсутності цілевказівок від радіолокаційних засобів. Розвиток даної концепції в подальшому може бути використаний для рішення конкретних завдань центру контролю космічного простору.

Вступ. Сучасна космічна діяльність високо розвинутих держав спрямована на економічний та науково-технічний розвиток, розв'язання глобальних проблем людства, у тому числі проблем безпеки, і характеризується новими завданнями, зокрема щодо використання космічної техніки для забезпечення сталого розвитку. Такі тенденції сприяють активному пошуку Україною свого місця на космічному ринку, формування нової космічної політики, спрямованої на задоволення нагальних загальнодержавних потреб.

Україна володіє значним космічним потенціалом, що дає змогу практично реалізувати сучасні космічні проекти, а доступ у космічний простір об'єктивно збільшує її вагомість у відносинах зі стратегічними партнерами, процесах інтеграції в європейські структури. Даний потенціал космічної галузі країни зосереджений в Державному космічному агентстві України (ДКАУ), робота якого на сьогоднішній день обумовлена керівними документами [9].

З підвищенням інтенсивності освоєння людством навколосезонного простору набуває актуальності завдання контролю космічного простору (ККП), вирішення якого в Україні покладено на Систему контролю і аналізу космічної обстановки (СКАКО).

Основою рішення покладених на СКАКО завдань є робота Центру контролю космічного простору (ЦККП) по веденню каталогу і супроводження пріоритетних космічних об'єктів (КО), розрахунку та видачі цілевказівок наземним пунктам спостереження, надання інформаційного забезпечення широкої програми космічних експериментів, контролю за виведенням космічного апарату (КА) на розрахункову орбіту з найменшим ризиком небезпечних зближень, що на сучасному етапі розвитку нашої вітчизни є найбільш важливим.

На сьогоднішній день для своєчасного та якісного реагування на динамічні зміни поточної обстановки, усунення нештатних (конфліктних) ситуацій, що виникають як при запуску космічних апаратів, так і в процесі функціонування складних космічних систем, необхідним є вирішення завдань високоточного визначення параметрів траєкторій руху КО. Проаналізуємо недоліки, що існують в цій системі, та визначимо завдання на дослідження.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми. Тенденція заселення космічного простору така, що з кожним роком туди виводять десятки КО, повернення яких на землю не передбачено. Вже зараз такі об'єкти являють собою серйозну загрозу, а актуальність фіксації та спостереження за їх переміщенням буде зростати. Оскільки після виводу супутника з експлуатації (коли його положення на орбіті перестають корегувати) його орбіта починає еволюціонувати за законами небесної механіки [2]. Для геостационарних супутників площина орбіти має прецесію 52 роки з амплітудою 15 градусів і саме на наш час припадає зближення площини орбіт "пасивних" супутників з геостационарною орбітою. Відносні швидкості таких об'єктів приблизно 10^4 м/с і зіткнення навіть з мікрооб'єктами призведе до катастрофічних наслідків. При цьому в наш час вказані КО мають, з урахуванням розвитку нанотехнологій, розміри від декількох сантиметрів до кількох метрів з різною конструктивною будовою, функціональним призначенням і використанням орбіт із різними нахилами та висотами.

Взагалі службами ККП на сьогодні зафіксовано більше 10^4 об'єктів. В основному, це великі КО більше 10 см, що фіксуються оптичними методами, об'єкти розміром 1–10 см становлять приблизно 10^5 , що оцінюються статистично через те, що вони не реєструються ані телескопами, ані малорозмірними радарми.

Специфіка сучасного стану космічної діяльності України полягає у значній невідповідності досягнутого рівня космічних технологій ефективності їх використання. У зв'язку з цим виникає завдання розроблення якісно нової моделі впровадження космічної діяльності відповідно до сучасних умов та національних інтересів, яка дасть змогу втілити в життя взаємопов'язані інноваційні рішення, узгодити питання, що виникли у зв'язку з багатофункціональністю космічної діяльності.

СКАКО, за своєю суттю, забезпечує споживачів інформацією необхідної якості і містить інформаційно-вимірювальні засоби (радіолокаційні оптичні та ін.) і пункти збору та обробки інформації про КО (рис. 1), результатом роботи яких має бути каталог КО.

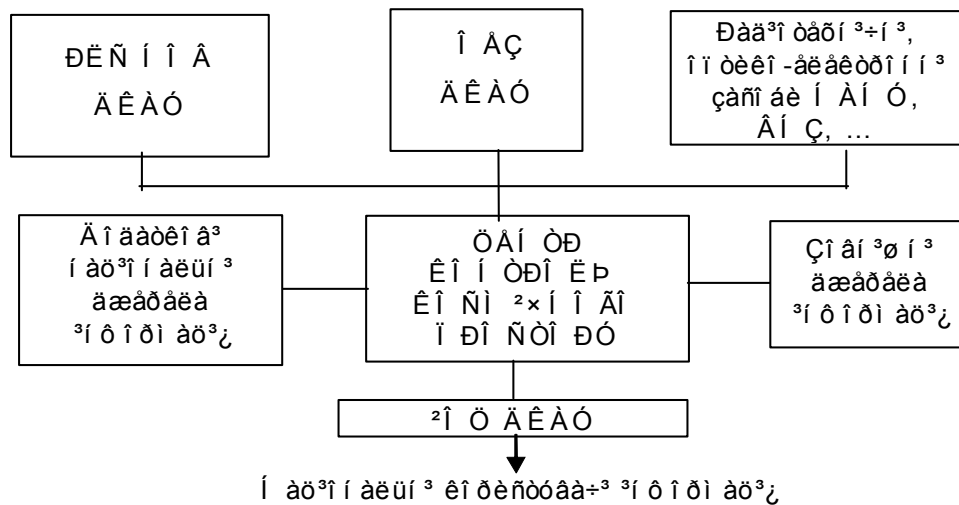


Рис. 1. Структура системи контролю і аналізу космічної обстановки

Методика ведення каталогу КО в таких провідних космічних державах світу, як Російська Федерація (РФ) чи Сполучені Штати Америки (США), є різними [3, 4], що характеризується певними особливостями. Система ККП (Space Surveillance System) США у своєму розпорядженні має велику кількість різнотипних, територіально розподілених на всій земній кулі технічних засобів спостереження [4], що дає можливість спостерігати за КО 50 % часу його польоту на одному витку, за рахунок чого на першому витку практично точно можна визначити параметри орбіти КО. РФ має розподілені тільки на своїй території технічні засоби спостереження, що дає змогу супроводжувати КО на одному витку менше часу, але дає можливість точно визначити параметри орбіт КО на 2–3 суміжних витках [3].

Україна має порівняно невелику територію та обмежену наявність технічних засобів космічного спостереження, що наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

№ з/п	Засіб	Точність	Оперативність	Особливість
1.	Радіолокаційна станція	Низька	Висока	Постійно здійснює розвідку космічного простору
2.	Оптична станція	Висока	Середня	Працює за попередніми цілевказівками, обмежена робота за часом доби та погодними умовами
3.	Командно-вимірювальна система	Висока	Низька	Непридатна для ведення каталогу КО, обслуговує “свої” космічні апарати

Аналіз поточної заселеності космічного простору показує, що приблизно 82 % від загальної кількості КО або проходять над територією України та поблизу її кордонів, або знаходяться в прямій видимості з території України.

Проведені авторами дослідження з кількісної характеристики потенційно можливих спостережень за КО з інформаційно-вимірювальних засобів, що на даний час знаходяться в навколосемному просторі, наведені на рисунку 2.

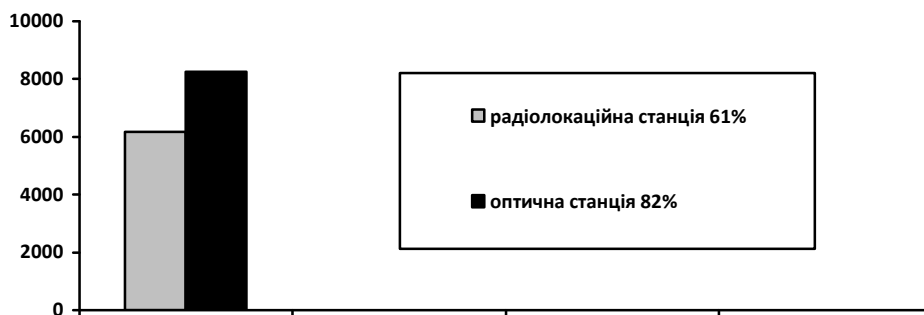


Рис. 2. Кількість КО в зоні спостереження відповідного інформаційного засобу у %

З характеристик інформаційних засобів, наведених у таблиці 1, з урахуванням проаналізованих значень (рис. 2) можна зробити висновок, що Україна потенційно спроможна виконувати завдання каталогізації КО, ефективність якої потребує подальших наукових досліджень.

Оптимальне вирішення цього завдання каталогізації КО за вказаних вище умов, було запропоновано за двохетапною схемою в [1], як показано на рисунку 3.

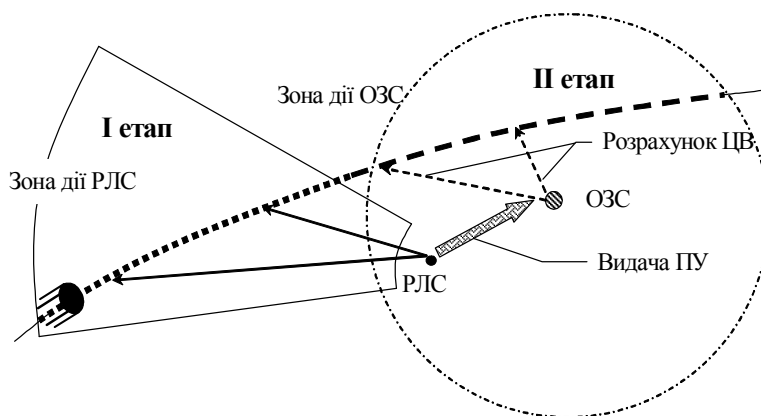


Рис. 3. Двохетапна схема роботи інформаційно-вимірювальних засобів СКАКО

За такою схемою, на першому етапі за результатами функціонування радіолокаційних засобів неперервного спостереження за КО отримується оперативне визначення грубих параметрів руху КО, що видаються в якості цілевказівок високоточним засобам спостереження. На основі отриманих даних на другому етапі, відбувається супроводження КО оптичними засобами (ОЗ) і точне визначення (уточнення) параметрів орбіти [6].

Оскільки радіолокаційні станції в Україні на даний момент не працюють за своїм призначенням, для рішення завдань ведення каталогу КО необхідно розв'язати дві задачі:

- визначити засоби апріорної інформації про початкові умови руху КО;
- визначити шляхи вдосконалення методів обробки інформації в оптичних засобах спостереження з метою підвищення оперативності визначення параметрів руху КО.

Таким чином, в умовах апріорної невизначеності вектора початкових значень руху КО та обмежених можливостей ККП наземними засобами спостереження виникла необхідність розробити методику ведення каталогу КО, що є **метою статті**.

Викладення основного матеріалу. Розв'язок задачі визначення апріорної інформації доцільно здійснювати за рахунок таких даних:

- каталогів інших держав на договірній основі;
- відкритих джерел, в тому числі Internet;
- незалежних спостережень ОЗ.

Недоліком перших двох перерахованих джерел є відсутність даних про КА військової розвідки або спеціального призначення, але інформацію каталогів за договорами можна використати в якості початкових умов, а далі уточнювати її за допомогою своїх ОЗ. Вирішення питання щодо закритої інформації по військовим КА і апаратам подвійного призначення можна розв'язати шляхом пошуку КО за допомогою самих ОЗ у зонах простору, виходячи з тактико-технічних характеристик розвідувальних й інших КА спеціального призначення, а також районів їх запуску (рис. 4).

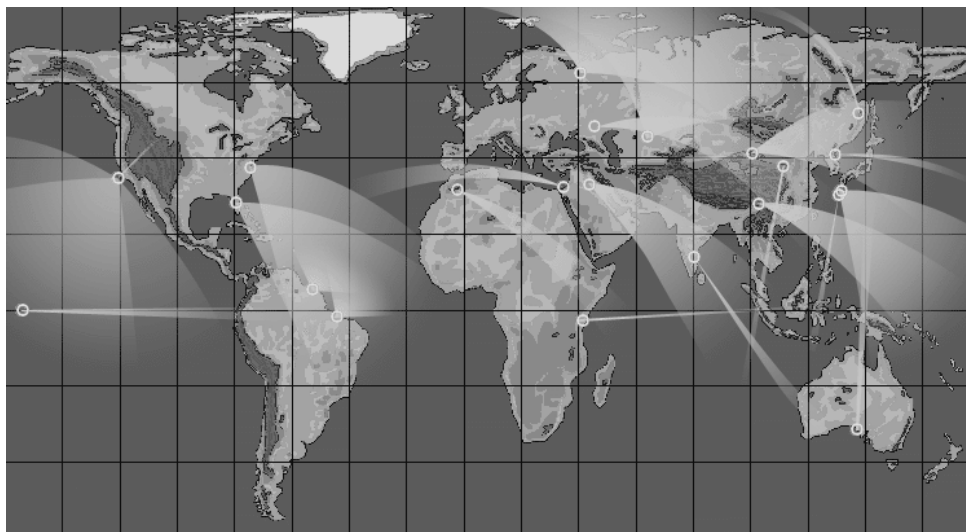


Рис. 4. Географічне розміщення космодромів світу та кутів запуску космічних систем з них

Інформація про запуск КА з того чи іншого космодрому дає можливість каталогізації КО на ранніх етапах свого сходження на розрахункову орбіту, як приклад аналізу таких можливостей для оптичних засобів спостереження (ОЗС) СКАКО наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Космодроми (Країна)							
Ліцван (Китай)		Alcantara (Бразилія)		Ванденберг (США)		Байконур (Казахстан)	
кут нахилу орбіти, град.	№ витка	кут нахилу орбіти, град.	№ витка	кут нахилу орбіти, град.	№ витка	кут нахилу орбіти, град.	№ витка
i = 40	2 3 4 5 6	i = 30	1 2	i = 75	1	i = 50	2
i = 55	3 4	i = 45	3 4	i = 100	2 3	i = 75	2 3

На сьогодні недоліком роботи ОЗС є необхідність цілевказівок від радіолокаційних станцій та обмеженої кількості просторових координат КО.

Рух КО записується вектором з шести параметрів в одній із систем координат, наприклад, геоцентричній системі координат (1), які визначаються шляхом розв’язку системи диференційних рівнянь (2) на основі вимірних засобами спостереження координат, наприклад (3):

$$X = |x_0 \ y_0 \ z_0 \ \dot{x}_0 \ \dot{y}_0 \ \dot{z}_0|^T, \tag{1}$$

де x_0, y_0, z_0 – початкові координати КО в геоцентричній системі координат; $\dot{x}_0, \dot{y}_0, \dot{z}_0$ – відповідні швидкості КО на орбіті в геоцентричній системі координат.

$$\frac{d}{dt} X = f(X, t), \tag{2}$$

$$\left| D \ \dot{D} \ \beta \ \dot{\beta} \ \varepsilon \ \dot{\varepsilon} \right|^T, \tag{3}$$

де D, β, ε – дальність, кут місця й азимут цілі; $\dot{D}, \dot{\beta}, \dot{\varepsilon}$ – швидкості зміни відповідних параметрів.

Оскільки ОЗС вимірюють лише два параметри руху β, ε , але в різні моменти часу, то для розв'язання задачі знаходження вектора параметрів (1) необхідно проводити відповідно до теорії крайових задач для звичайних диференціальних рівнянь [2].

Для зав'язки траєкторії з забезпеченням необхідної точності даних каталогу засоби ККП повинні забезпечувати певну кількість координатних вимірювань на якомога більшому інтервалі часу за кожним каталогізованим КО на одному витку [3]. При цьому необхідна кількість координатних вимірювань для кожного КО залежить не тільки від точності цих вимірювань (чим точніше кожне вимірювання, тим менше вимірювань необхідно для точного визначення параметрів орбіти КО), але й від того, наскільки точним та ефективним є використання в ЦККП математичного апарату для вирішення крайової задачі та прогнозування руху КО.

Традиційно, на практиці для зав'язки траєкторії використовують двомірні витки, з урахуванням однопунктної системи спостереження в Україні час накопичення сигналу може становити до декількох діб [3].

Вирішення таких завдань ОЗС на двомірних витках добування інформації може спричинити до великого рознесення параметрів в часі, що різко знижує оперативність обробки даних. Тому для розв'язання завдань точного та оперативного ведення чи оновлення даних каталогу передбачається таке:

- розробити метод обробки вимірювань на основі математичного апарату, який дасть змогу вирішити завдання на одному витку;
- створити багатопозиційний комплекс ОЗС.

Багатоточкова крайова задача для радіолокаційних засобів розв'язана в роботі [5] на основі математичного апарату багатомірних диференціальних перетворень.

Диференціальні перетворення – це порівняно новий операційний метод, який, на відміну від відомих інтегральних перетворень Лапласа і Фур'є, переводить оригінал в область зображень за допомогою операції диференціювання. Такий підхід, в багатьох практичних задачах, призводить до значного спрощення проведення моделювання складних нелінійних об'єктів [7].

Диференціальні перетворення можуть бути різної мірності (одномірні, двомірні тощо). Мірність перетворень, що використовуються, залежить від конкретики задачі, що вирішується і визначається кількістю незалежних змінних, що одночасно розглядаються.

Багатомірними диференціальними перетвореннями, називають функціональні перетворення виду [7]:

$$Z(K_1, \dots, K_L) = P_L \{z(W)\}_{W^*} = \frac{\prod_{l=1}^L H_l^{K_l}}{\prod_{l=1}^L K_l!} \left[\frac{\partial^{\sum_{l=1}^L K_l} z(W)}{\prod_{l=1}^L \partial w_l^{K_l}} \right]_{W^*}; \quad (4)$$

$$z(W) = P_L^{-1} \{Z(K_1, \dots, K_L)\}_{T_N} = f(W, C), \quad (5)$$

де W – аргумент (вектор), за яким проводиться перетворення, розміром L ; W^* – значення аргументу, при якому проводиться перетворення; $Z(K_1, \dots, K_L)$ – дискретна функція цілочислових аргументів $K_l = 0, 1, 2, \dots$; H_l – відрізок аргументу, на якому розглядається функція $z(W)$; $f(W, C)$ – функція відновлення або апроксимуюча функція; C – вектор вільних коефіцієнтів.

Вираз (4) визначає пряме перетворення, яке дозволяє по оригіналу $z(W)$ найти зображення $Z(K_l)$. Обернене перетворення, що відновлює оригінал $z(W)$ у вигляді апроксимуючої функції, визначається виразом (5). Диференціальне зображення $Z(K_l)$ прийнято називати диференціальним спектром або Р-спектром, а значення функції $Z(K_l)$ при конкретних значеннях аргументів K_l – дискетами диференціального спектра або Р-дискетами.

В найпростішому випадку апроксимуюча функція має вигляд багаточлена і задача відновлення оригіналу зводиться до додавання дискрет Р-спектра в вигляді відрізка ряду Тейлора за ступенями функції $\tau_l = (w_l - w_l^*)/H_l$. Диференціальні перетворення в такому випадку називають диференціально-тейлорівськими [7, 8].

Застосування такого підходу в умовах обмеженого складу вимірювань параметрів руху динамічних об'єктів ОЗС потребує наукових досліджень із подальшим з'ясуванням його переваг та недоліків, порівняно з класичними методами.

З аналізу роботи [1] створення великобазового радіолокаційного комплексу (як приклад) дає змогу говорити про значне підвищення оперативності з визначення параметрів руху КО. Підвищення точності визначення параметрів руху в такій системі відбувається за рахунок врахування просторово рознесенного сигналу, відбитого від цілі, що забезпечується великою базою між вимірювачами. Територіальні розміри

України дають змогу стверджувати про можливість та ефективну роботу аналогічного оптичного багатопозиційного комплексу по низьковисотним КО.

Висновки. Таким чином, в статті проаналізовано сучасний стан ККП з метою ведення каталогу КО в провідних країнах світу та в нашій державі зокрема. Визначено ряд проблемних питань з даного напрямку в СКАКО України. Розглянуто наукові досягнення з цих питань в роботах [1, 5], підходи яких дають розвиток створенню ведення каталогу КО за інформацією від вітчизняних ОЗС в умовах відсутності цілевказівок від вітчизняних радіолокаційних засобів із забезпеченням споживачів СКАКО оперативною та точною інформацією про рух КО в навколосемному просторі.

Запропоновано, з метою підвищеної оцінки вимірювань параметрів руху КО, розв'язок крайової задачі проводити на основі диференціально-тейлорівської моделі руху. Розв'язок задачі оперативного ведення та оновлення даних каталогу КО передбачає створення багатопозиційного комплексу ОЗС.

Подальші дослідження планується проводити з визначення ефективності застосування математичного апарату багатомірних диференціальних перетворень в ОЗС, а також створення методу обробки з підвищеною точністю оцінювання параметрів орбіти в двопозиційному комплексі ОЗС.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Андреев Ф.М. Возможности многопозиционного комплекса, созданного на базе национальных РЛС надгоризонтного обнаружения баллистических и космических объектов / Ф.М. Андреев, С.В. Ковбасюк // Космічна наука та технологія. – К. : НАН, НКАУ, 2009. – № 5 (15). – С. 74–81.
2. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике / В.К. Абалакин и др. ; под ред. Г.Н. Дубошина. – 2-е, доп. и перераб. – М. : Наука. Глав. ред. физ-мат. лит., 1976. – 864 с.
3. Процедуры прогнозирования, используемые при ведении каталога спутников / В.Ф. Бойков, А.В. Тестов, З.Н. Хуторовский и др. // Journal of Guidance, Control, and Dynamics. – American Institute of AAD to the Technology of Dynamic and Control. – 2009. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.aiaa.org/content.cfm?pageid=322&lupubid=23>.
4. Борис Р.В. Системы обнаружения НПРО – пока ничего нового / Р.В. Борис // Воздушно-космическая оборона. – 2001. – № 2 (2). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.vko.ru/id24169938#/id24169938>.
5. Ковбасюк С.В. Расчет частных производных от текущих элементов орбиты по начальным условиям на основе многомерных дифференциальных преобразований / С.В. Ковбасюк, М.Ю. Ракушев // Двойные технологии. – 2004. – № 2. – С. 15–18.
6. Ковбасюк С.В. Визначення дійсного руху космічного апарата / С.В. Ковбасюк, М.Ю. Ракушев // зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІРЕ, 2004. – № 7. – С. 13–23.
7. Самарский А.А. Численные методы : учеб. пособ. / А.А. Самарский, А.В. Гулин. – М. : Наука. Глав. ред. физ-мат. лит., 1989. – 432 с.
8. Соловьев Г.М. Уточняемые параметры орбиты и частные производные в задачах определения движения космического аппарата / Г.М. Соловьев, В.М. Елкин // Двойные технологии. – 2003. – № 1. – С. 2–8.
9. Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України на 2008–2012 роки. – 2011. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.nkau.gov.ua/nsau/catalogNEW.nsf/160776743F0D4A37C3256BB30050B196/6FAF7E382FEEA2A2C225726D00425D75?OpenDocument&Lang=U>.

КАНЕВСЬКИЙ Леонід Броніславович – ад'юнкт науково-організаційного відділення Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– застосування оптичних засобів спостереження в СКАКО України.

КОВБАСЮК Сергій Валентинович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник наукового центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– наземні засоби космічної інфраструктури України.

Подано 14.01.2011