

КОСМІЧНА НАУКА І ТЕХНОЛОГІЯ ^{Том 22} 6(103) + 2016

Space Science and Technology

НАУКОВО-ПРАКТИЧНИЙ ЖУРНАЛ + ЗАСНОВАНО В ЛЮТОМУ 1995 р. + ВИХОДИТЬ 6 РАЗІВ НА РІК + КИЇВ

ЗМІСТ

Дячук І. Д. Академік Сергій Корольов. «Per aspera ad astra». До 110-річчя з дня народження академіка С. П. Корольова

Динаміка та керування космічними апаратами

Губарев В. Ф., Мельничук С. В. Комбинаторный метод интервального оценивания ориентации космического аппарата по измерениям астродатчиков

Моніторинг космічного простору і космічне сміття

Маслова А. И., Пироженко А. В. Изменение орбиты под действием малого постоянного торможения

Дослідження Землі з космосу

Маслей В. Н., Мозговой Д. К., Белоусов К. Г., Хорошилов В. С., Бушанская А. С., Галич Н. Г. Методика оценки последствий добычи янтаря по многоспектральным спутниковым снимкам

CONTENTS

Diachuk I. D. The Academician Serhii Korolev. «Per aspera ad astra». To the 110 anniversary from the birthday of academician S. P. Korolev

Spacecraft Dynamics and Control

Gubarev V. F., Melnychuk S. V. Combinatoric method for interval estimation of a spacecraft attitude based on star tracker measurements

Space Environment Monitoring and Space Debris

Maslova A. I., Pirozhenko A. V. Orbit changes under the small constant deceleration

Study of the Earth from Space

Masley V. M., Mozgovoy D. K., Bilousov K. G., Horoshilov V. S., Bushanska O. S., Galich N. G. Methods of the impact evaluation of amber mining by multispectral satellite images

Соціогуманітарні аспекти космічних досліджень

Малишева Н. Р., Гурова А. М. Новації в дозвільному порядку здійснення космічної діяльності: об'єктивна необхідність чи данина часу?

Юрковська Н. Р. Актуальні напрямки розвитку космічної галузі України в рамках гармонізації національного законодавства з європейським

Наші автори

Авторський покажчик

Social Sciences in Space Exploration

37 *Malysheva N. P., Hurova A. M.* Novations in permissive procedure of space activities: an objective necessity or a tribute to time?

45 *Jurkowska N. R.* Current trends in the development of space industry in Ukraine under the harmonization of the national legislation with European laws

54 **Our authors**

56 **Index**

Журнал «Космічна наука і технологія» включено до переліку наукових фахових видань України, в яких публікуються результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата фізико-математичних та технічних наук

Відповідальний секретар редакції О.В. КЛИМЕНКО

Адреса редакції: 01030, Київ-30, вул. Володимирська, 54,
тел./факс (044) 526-47-63, ел. пошта: reda@mao.kiev.ua
Веб-сайт: space-scitechnjournal.org.ua

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 1232 від 2 лютого 1995 р.

Підписано до друку 28.12.16. Формат 84×108/16. Папір крейдований. Гарн. Ньютон. Друк офс.
Ум. друк. арк. 6,09. Обл.-вид. арк. 6,4. Тираж 100 прим. Зам. № 4788.

Оригінал-макет виготовлено та тираж видруковано Видавничим домом «Академперіодика» НАН України
01004, Київ, вул. Терещенківська, 4

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001 р.

І. Д. Дячук

Музей космонавтики ім. С. П. Корольова Житомирської обласної ради, Житомир

АКАДЕМІК СЕРГІЙ КОРОЛЬОВ. «PER ASPERA AD ASTRA»

До 110-річчя з дня народження академіка С. П. Корольова



«Те, що здавалося нездійсненим протягом століть, що ще вчора було лише сміливою мрією, сьогодні стає реальним завданням, а завтра — звершенням. Немає перешкод людської думки злету!»

Сергій КОРОЛЬОВ

Житомир — старовинне місто України, відоме традиціями Полісся — має унікальну особливість: вже понад півстоліття його культурне життя пов'язують з Космосом, історією космічних досліджень та планетарним мисленням. Це місто стало батьківщиною вченого зі світовим ім'ям, Головного конструктора перших ракетно-космічних систем, засновника практичної космонавтики академіка С. П. Корольова.

Сергій Павлович Корольов належав до числа унікальних фахівців: його особистість та сфе-

ра діяльності мали надзвичайну державну вагу і складали державну таємницю. Лише після раптової смерті 14 січня 1966 року ім'я Головного конструктора і сторінки його біографії відкрилися широкому загалу. У 1968 році на будинку в старовинній частині Житомира, де народився вчений, президент Національної академії наук України академік Борис Євгенович Патон та дочка С. П. Корольова Наталія Сергіївна урочисто відкрили меморіальну дошку, а у 1970 році прийняв перших відвідувачів Меморіальний будинок-музей академіка С. П. Корольова. Згодом, у 1991 р., було відкрито експериментальну



Президент НАН України Б. Є. Патон і дочка С. П. Корольова Наталія Сергіївна біля меморіальної дошки на будинку, де народився С. П. Корольов (Житомир, 1968 р.)

експозицію «Космос», концепція якої чудово поєднала технічну й гуманітарну складові космічної діяльності і стала втіленням реалізації творчих задумів та «космічних» мрій Головного конструктора.

Сьогодні Музей космонавтики ім. С. П. Корольова є провідним музеєм космічного профілю в Україні, який зберігає, формує та вивчає національну колекцію з космонавтики. В експозиції та виставках представлено зразки космічної техніки, фотографії, документи, в яких простежуються історії конструкторів, інженерів, космонавтів, усіх тих людей, долі яких пов'язані з Космосом. Запроваджений в роботі міждисциплінарний підхід став підґрунтям для проведення на базі музею Міжнародних науково-практичних конференцій, які в дискусіях об'єднали науковців,

інженерів, митців та педагогів. Музей став національним координатором проведення Всесвітнього тижня Космосу і плідно співпрацює в цьому проєкті з провідними вченими Головної астрономічної обсерваторії України, Інституту педагогіки НАН України, Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного, Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона, іншими організаціями та установами НАН України.

На цей час музей відвідало біля 3 мільйонів відвідувачів з різних країн світу, колекція сягає понад 12 тисяч одиниць, значну частину яких було передано у фонди Інститутами та установами НАН України, провідними фахівцями космічної галузі, космонавтами. В експозиціях музею представлено чимало документів та світлин, які відтворюють тернистий шлях С. П. Корольова — шлях, на якому трапилось було багато злетів і падінь, але яким він з честю пройшов до космічних висот.

Сергій Павлович Корольов народився 12 січня 1907 року (за старим стилем 30 грудня 1906 р.) в учительській родині Павла Яковича та Марії Миколаївни Корольових. Дитячі та юнацькі роки Сергія пройшли в Україні. В силу непростих сімейних обставин змінювалися міста перебування: Житомир, Київ, Ніжин, Одеса. Середню освіту Сергій здобув, навчаючись в Одеській будівельно-професійній школі № 1. У цей же час серйозно захопився авіацією і навіть став автором проєкту



Урочисте проходження курсантів Житомирського військового інституту ім. С. П. Корольова

Відкриття Меморіального будинку-музею академіка С. П. Корольова (1 серпня 1970 р.)



безмоторного літака (планера) К-5, рекомендованого компетентною комісією до побудови.

Мрія будувати та випробовувати літаки власної конструкції покликала Корольова до Києва: два роки (1924—1926) він навчався на авіаційному відділенні механічного факультету політехнічного інституту, а вільний час присвячував планеризму. У зв'язку з припиненням підготовки авіаінженерів у КПІ, Сергій перевівся до Московського вищого технічного училища ім. М. Баумана. Навчання поєднував з роботою інструктора планерної школи, займався розробкою оригінальних планерів і літаків в аеродинамічному гуртку ім. М. Є. Жуковського, а з 4-го курсу почав працювати конструктором на авіаційних заводах. Молодечий запал, цілеспрямованість і наполегливість увінчалися вагомими результатами: планер «Червона Зірка» конструкції С. П. Корольова увійшов до історії авіації як перший у світі безмоторний літальний апарат, на якому було виконано фігуру вищого пілотажу, а у 1930 р. Сергій Корольов успішно захистив дипломний проект — легкий літак СК-4.

З 1931 р. Сергій Павлович активно займається літаками з реактивними двигунами, плануючи створити ракетоплан. Цей задум приводить його до щойно створеної московської Групи ви-

вчення реактивного руху, яка працювала на громадських засадах. Наступного року Корольову довіряють очолити цю організацію. Проектно-конструкторськими бригадами Групи вивчення реактивного руху був покладений початок більшості напрямків ракетобудування. У 1933 р. під керівництвом С. П. Корольова цим творчим колективом було здійснено запуск першої радянської ракети на рідинному паливі, що стало першим кроком до міжпланетних польотів, про які мріяв Сергій Корольов. В цей же час Корольов починає практичні роботи щодо створення ракетоплану. Саме в Групі вивчення реактивного руху проявилися унікальні якості Корольова-керівника: за спогадами одного із піонерів ракетно-космічної техніки М. К. Тихонравова, у Сергія Павловича «видатний конструкторський талант поєднувався з глибокою науковою інтуїцією та блискучими організаторськими здібностями».

С. П. Корольов розумів — успіхи у створенні нової техніки зростуть, якщо об'єднати зусилля вчених, інженерів і техніків з різних організацій. Наприкінці 1933 року за активної підтримки маршала М. М. Тухачевського на базі московської Групи вивчення реактивного руху та Ленінградської газодинамічної лабораторії був створений Реактивний науково-дослідний ін-



Я. С. Яцків, Б. Є. Патон, А. В. Шпак на I Міжнародній конференції «Людина і Космос» на батьківщині академіка С. П. Корольова (Житомир, 1991 р.)



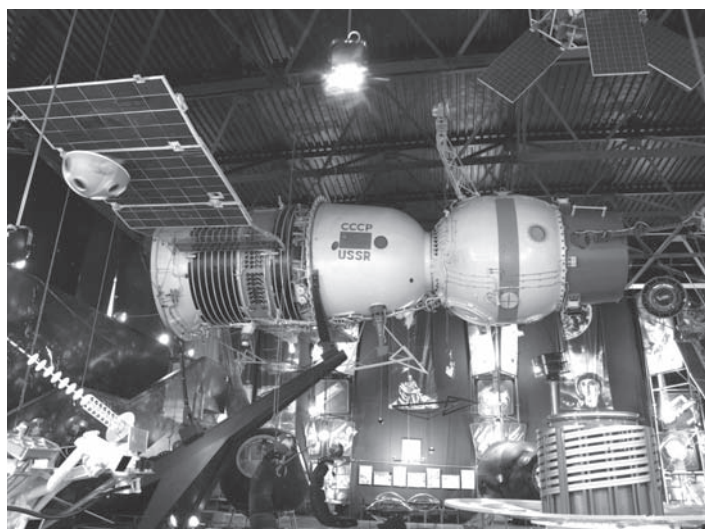
Академік Борис Патон та льотчики-космонавти Світлана Савицька і Володимир Джанібєков в Інституті електророзварювання ім. Є.О. Патона (1984 р.)



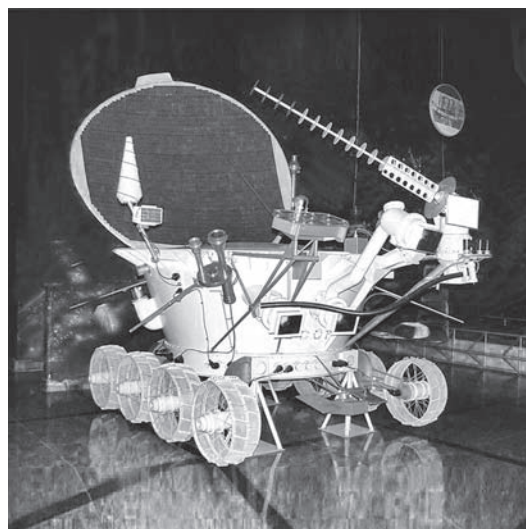
Музей космонавтики ім. С. П. Корольова. Експозиція «Космос»



Льотчик-космонавт Георгій Гречко біля СА КК «Союз-27» під час відвідування музею (2011 р.)



Експозиція «Космос». Космічний корабель «Союз»



Експозиція «Космос». Місячний самохідний апарат «Луноход-2», макет М 1:1

ститут. С. П. Корольова призначили заступником директора інституту, але згодом перевели на інженерно-конструкторську роботу — він став начальником відділу з розробки крилатих ракет.

На початку 30-х років в харківському журналі «За техніку» вийшли дві статті Сергія Корольова українською мовою (18 серпня 1933 р. та 1 травня 1934 р.).

Під першою статтею «Радянські ракети літатимуть над СРСР» стояв підпис: «Інж. С. Корольов — начальник центральної групи реактивних рушійв». Автор визначає перспективи використання реактивних двигунів для стратосферних польотів, зазначає, що над ними працює весь світ. Та найголовніше: вже тоді Корольов науково передбачає, що «реактивні рушії саме і є той засіб, що дозволить колись людині залишити нашу планету і вилетіти в світові простори». Далі Корольов зазначає, що у військових цілях над створенням ракет на рідкому і твердому паливі працюють Оберт в Німеччині та Годдард в Америці. В той же час автор стверджує, що і в Радянському Союзі над питаннями реактивного руху працюють науково-дослідні і громадські організації і ряд видатних наукових діячів.

Друга стаття має назву «Ракетоплани літатимуть над СРСР». В ній Корольов знову звертається до ідеї використання реактивних двигунів, розповідає про їхні переваги над іншими. Він наводить коротку історію спроб використання ракетних двигунів у світі і доходить висновків, що «всякого роду рух з великими швидкостями і з допомогою реактивних двигунів можливий тільки для літальних апаратів, коли вони літають у вищих шарах атмосфери (у стратосфері). І по-друге, що для цієї мети треба застосовувати реактивні двигуни на різного роду рідкому паливі (бензин, спирт та ін.)». Завершується стаття пропозицією в майбутньому використовувати ракетні двигуни для перевезення в найкоротший час вантажів, пошти і, можливо, людей зі «швидкостями, багато більшими, ніж ті, що досягнуто на сьогодні».

Про більш ніж професійний інтерес С. П. Корольова до ідеї створення ракет і використання реактивних двигунів йдеться у статті в газеті «Правда» від 8 квітня 1934 р., де підсумовуються

результати роботи конференції із вивчення стратосфери. С. П. Корольов відзначає доцільність та необхідність використання реактивних апаратів для дослідження верхніх шарів атмосфери.

Результати перших кроків ракетобудування С. П. Корольов підсумував у своїй книзі «Ракетний політ у стратосфері» (1934), у якій висвітлює реальні можливості застосування ракет у наукових і військових цілях: «Ракети — це оборона та наука... Наступить і той час, коли перший земний корабель вперше покине Землю».

Енциклопедичні знання, системний підхід, набутий досвід уже тоді дозволяли С. П. Корольову застосовувати найдоцільніші у кожному конкретному випадку конструктивні схеми апарата, типи двигунів і систем керування, види палива і матеріалів. Як наслідок під його керівництвом до 1938 року було розроблено експериментальну систему керованої ракетної зброї. Сподіваючись на підтримку військового керівництва у розробці висотного ракетоплана, С. П. Корольов уперше в світі обґрунтував концепцію ракетного винищувача-перехоплювача, здатного за декілька хвилин досягти значної висоти й атакувати ворожі літаки. У лютому 1940 року льотчик В. П. Федоров здійснив на ракетоплані РП-218-1 перший в СРСР політ з працюючим реактивним рідинним двигуном. Ця подія стала початком радянської реактивної авіації.

У середині 1938 року почався найдраматичніший етап життя Сергія Павловича Корольова: за звинуваченням у діяльності, спрямованій на ослаблення обороноздатності країни, у червні він був арештований, а у вересні засуджений на 10 років ув'язнення, яке відбував у в'язницях Москви, Новочеркаська та на золотодобувній копальні «Мальдяк».

Пізніше у заяві на реабілітацію Сергій Павлович писав: «Мене звинуватили у шкідництві у галузі нової техніки... Більш неправдоподібне і безглузде звинувачення важко собі уявити, оскільки робота у галузі нової техніки завжди була для мене метою всього мого життя і улюбленою справою». Завдяки клопотанням самого Корольова, його матері Марії Миколаївни, відомих льотчиків М. Громова та В. Гризодубової, видатного авіаконструктора А. Туполева (керів-



Академік НАН України Ярослав Яцків на урочистому засіданні з нагоди 45-річчя Музею космонавтики ім. С. П. Корольова (1 серпня 2015 р.)

ника диплому С. Корольова у МВТУ) його справу переглянули. Наприкінці 1940 року в'язня С. П. Корольова відправили до особливого конструкторського бюро (ЦКБ-29), яке працювало у Москві, а потім, з початком війни та необхідністю евакуації, — в Омську і Казані. С. П. Корольов брав участь у створенні військових літаків та працював над розробкою авіаційних реактивних двигунів. У липні 1944 р. групу спеціалістів, яка працювала в Казані, і до складу якої входив С. П. Корольов, достроково звільнили із зняттям судимості. А вже через рік у складі іншої групи фахівців-ракетників Корольова відрядили до Німеччини для вивчення трофейної ракетної техніки.

Із створенням у травні 1946 року Державного Науково-дослідного інституту (НДІ-88) С. П. Корольова призначають Головним конструктором 3-го відділу, який згодом перетворюють у засекречене Особливе конструкторське бюро зі створення перших бойових комплексів балістичних ракет далекої дії для озброєння армії. Вершиною діяльності у цьому напрямку стала міжконтинентальна балістична ракета Р-7, яка у серпні 1957 року пройшла успішне випробування, а 4 жовтня цього ж року виконала свою історичну місію — винесла на навколосеземну ор-

біту перший у світі штучний супутник Землі. Так була відкрита космічна ера в історії людської цивілізації. Ця подія кардинально змінила плани Сергія Павловича Корольова — тепер він, Головний конструктор, — цілковито присвятив себе космонавтиці, впевнено та сміливо крокуючи дорогою нових космічних досліджень. І усі наступні віхи діяльності С. П. Корольова теж будуть мати означення — «вперше у світі»: і створення та запуск наукових супутників-лабораторій та автоматичних станцій для дослідження Місяця, Венери, Марса, і пілотований космічний політ, і космічні екіпажі, і вихід людини у відкритий космічний простір.

Останній проект Головного конструктора був втілений у життя вже після його смерті. КК «Союз», вперше запущений у космос 1967 року, сьогодні є надійним засобом доставки екіпажів до Міжнародної космічної станції.

Про необхідність створення орбітальних станцій С. П. Корольов писав ще до польоту Ю. Гагаріна: «За першими польотами людини розпочнеться створення на орбіті навколо Землі постійної орбітальної заселеної станції, де наукові співробітники будуть систематично вести різноманітні спостереження, проводити дослідження на висоті сотень кілометрів над Землею» (газета

«Правда» від 10 листопада 1960 р.). Проте він розумів, що створення, обслуговування та ремонт орбітальних комплексів неможливі без технологічних процесів зі з'єднання металів у космосі, найбільш перспективним з яких є зварювання. Адже за тривалої експлуатації орбітальних пілотованих станцій виникає потреба відновлення терморегулюючих, захисних та оптичних покриттів, які під впливом мікрометеоритів і космічного випромінювання втрачають свої функціональні властивості.

На початку 1960-х років С. П. Корольов звернувся до київського Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона з пропозицією розробки апаратури для проведення технологічних експериментів у космосі. 16 жовтня 1969 року на борту КК «Союз-6» космонавти Г. Шонін та В. Кубасов вперше у світовій практиці здійснили зварювання та різання металів у космосі на універсальній автоматизованій установці «Вулкан», розробленій спеціалістами ІЕЗ ім. Є. О. Патона. Цей експеримент довів, що найбільш перспективним джерелом енергії для таких робіт у космосі є електронний промінь. Так було започатковано еру космічних технологій.

У 1979 році на орбітальну станцію «Салют-6» було доставлено технологічну установку «Випарник» — нову розробку ІЕЗ, призначену для нанесення тонкоплівкових металевих покриттів на експериментальні зразки методом термічного випаровування та конденсації. За три роки її експлуатації було отримано більш ніж двісті зразків, які за деякими параметрами мали унікальні властивості.

Для термінових ремонтних робіт в умовах відкритого космосу науковцями та інженерами ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України було розроблено компактний універсальний електронно-променеви́й ручний інструмент (УРІ) для зварювання, різання та спаювання металів та на-

несення покриттів. Всі ці технологічні роботи не мають аналогів за кордоном. 25 липня 1984 року космонавти С. Савицька та В. Джанібеков вперше випробували УРІ у відкритому космосі за бортом орбітальної станції «Салют-7». Експеримент тривав 3 години 35 хвилин. Отримані зразки було доставлено на Землю, і в результаті досліджень встановлено, що структура та властивості зварних з'єднань, виконані вручну електронним променем у відкритому космосі, мають високу якість і майже не відрізняються від «земних». Так остаточно були поборолені сумніви щодо можливості використання в космосі зварювальних технологій.

Сучасний розвиток космічних технологій яскраво свідчить про геніальне передбачення та конструкторський талант, посилений неординарними організаторськими здібностями Сергія Павловича Корольова. Космонавт Георгій Гречко, який неодноразово відвідував Музей космонавтики в Житомирі, згадував: «В проектних відділах ОКБ-1, начальником та головним конструктором якого був С. П. Корольов, на початку 60-х років проводилися роботи за багатьма напрямками. Це був чудовий час. Ентузіазм був величезний. Всім нам пощастило: ми опинилися на передньому краї створення унікальної космічної техніки у золотий період нашої космонавтики».

«С. П. Корольов — основоположник практичної космонавтики», — таким визначенням наукова спільнота високо оцінила внесок Сергія Павловича Корольова у розвиток світової космічної науки і техніки.

Творча спадщина Головного конструктора є предметом глибокого вивчення і реалізації: тривають наукові і прикладні програми дослідження космосу, працюють довгострокові орбітальні комплекси, ракетно-космічна техніка виходить на нові орбіти.

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2016.06.010>

УДК 681.518.5

В. Ф. Губарев, С. В. Мельничук

Институт космических исследований Национальной академии наук Украины
и Государственного космического агентства Украины, Киев

КОМБИНАТОРНЫЙ МЕТОД ИНТЕРВАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО ИЗМЕРЕНИЯМ АСТРОДАТЧИКОВ

Предлагается метод нахождения интервальных оценок параметров ориентации космического аппарата. Исходными данными задачи являются измерения астродатчиков. Рассматриваются системы с одним, двумя и тремя датчиками. Проводится сравнение точности решения по ширине интервальных оценок параметров ориентации.

Ключевые слова: комбинаторный метод, астродатчик, гарантированное оценивание ориентации, интервальное оценивание.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время астродатчики (АД) являются одним из основных инструментов, позволяющих определять ориентацию космических аппаратов (КА) по направлениям на звезды [4, 6]. При этом использование выходной информации двух и более АД позволяет существенно повысить точность оценивания кватерниона ориентации по угловым координатам всех звезд, попавших в поле зрения кластера звездных датчиков. Достигается это за счет такого взаимного расположения звездных датчиков на борту КА, при котором можно существенно увеличить углы между направлениями на звезды от разных АД по сравнению с угловым размером поля зрения одного АД. Это обстоятельство становится существенным, когда измерительная информация об угловых координатах звезд является приближенной, т. е. содержит погрешности. Тогда

алгоритмы определения ориентации при малых углах между единичными векторами направлений на звезды, т.е. при малом поле зрения, дают достаточно большую погрешность оценивания, что имеет место, как правило, в случае одного АД. Если же ориентацию определять по звездам от разных датчиков, то углы между направлениями на звезды можно существенно увеличить. В результате, как продемонстрировано в работе [3], даже при использовании двух АД удалось значительно уменьшить норму вектора погрешности по сравнению с нормой вектора ошибки, вычисленной по показаниям одного АД. При этом в работе [3] для оценивания кватерниона ориентации применялся рекуррентный метод наименьших квадратов с регуляризацией. Задача сводилась к минимизации сглаживающего функционала с определением параметра регуляризации из принципа обобщенной невязки.

В данной работе предлагается иной способ определения кватерниона ориентации на основе комбинаторного метода решения переопреде-

ленной системы уравнений, к которым сводится указанная задача при использовании M АД с n_m звездами в поле зрения m -го датчика ($m = \overline{1, M}$), когда

$$\sum_{m=1}^M n_m = N$$

по крайней мере больше трех.

Если погрешности измерения составляющих вектора направления на звезды задаются в виде ограничительных неравенств, то комбинаторный метод, описанный в работе [1], позволяет получать приближенную оценку кватерниона и гарантированный интервал принадлежности его точного значения. По этим данным непосредственно устанавливается эффективность алгоритмов и можно оптимизировать проектные параметры системы ориентации.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Кластерный измерительный звездный комплекс, состоящий из M АД, каждый из которых имеет свою оптическую систему (объектив), матричный приемник излучения (ПЗС или КМОП) и блок электроники, позволяет, как было сказано, более эффективно и надежно определять ориентацию КА в сравнении с одним АД. При этом бортовой вычислитель, входящий в ее состав, обрабатывает исходную информацию всех АД и на выходе выдает параметры ориентации КА, включая угловые скорости его вращательного движения. В результате можно отказаться от использования на борту КА других датчиков. Вся необходимая информация для управления угловым движением КА выдается бортовым вычислителем. Здесь мы будем рассматривать только метод и алгоритм определения кватерниона ориентации по направлениям на звезды, попавшим в кадр каждого из АД. Определение по этой информации угловых скоростей осуществляется другим алгоритмом, который в работе не описывается.

Каждый АД функционирует следующим образом: на его матричном приемнике экспонируется кадр с изображением звездного неба, в нем выделяются изображения звезд и определяют их координаты. Звезды в кадре или их часть

отождествляются со звездами в бортовом навигационном каталоге, который содержит координаты звезд с их положениями в одной из инерциальных (небесных) систем координат (ИСК). Координаты направлений на звезды относительно внутренней системы координат (ВСК) каждого АД и координаты отождествленных с этими звездами из бортового каталога подаются на вход бортового вычислителя, в котором по этой информации определяется кватернион ориентации.

Пусть O_m, x_m, y_m, z_m — система координат, соответствующая ВСК $_m$, т. е. m -му астродатчику АД $_m$, а O_0, x_0, y_0, z_0 — система координат, соответствующая ИСК. Направления на звезды, попавшие в поле зрения m -го датчика, представим в виде векторов $r^{mi} = (r_{x_0}^{mi}, r_{y_0}^{mi}, r_{z_0}^{mi})$, $i = 1, 2, \dots, n_m$. Направления на те же звезды, но в системе координат ВСК $_m$, запишем как $b^{mi} = (b_x^{mi}, b_y^{mi}, b_z^{mi})$. Полагаем, что компоненты вектора r^{mi} из бортового каталога известны с высокой точностью, а измеренные АД направления вектора b^{mi} содержат погрешности, т. е. имеем

$$\begin{aligned} \tilde{b}_x^{mi} &= b_x^{mi} + \xi_x^{mi}, \quad \tilde{b}_y^{mi} = b_y^{mi} + \xi_y^{mi}, \\ \tilde{b}_z^{mi} &= b_z^{mi} + \xi_z^{mi}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $b_x^{mi}, b_y^{mi}, b_z^{mi}$ — точные значения составляющих вектора b^{mi} , $\tilde{b}_x^{mi}, \tilde{b}_y^{mi}, \tilde{b}_z^{mi}$ — измеренные, а $\xi_x^{mi}, \xi_y^{mi}, \xi_z^{mi}$ — случайные погрешности измерений, о которых априори известно, что они по величине ограничены неравенствами

$$|\xi_x^{mi}| \leq \epsilon_x^{mi}, \quad |\xi_y^{mi}| \leq \epsilon_y^{mi}, \quad |\xi_z^{mi}| \leq \epsilon_z^{mi}. \quad (2)$$

Если все АД $_m$ идентичны, и звезды в поле зрения каждого датчика имеют близкие межзвездные угловые размеры, то можно для простоты считать $\epsilon_x^{mi} = \epsilon_1$, $\epsilon_y^{mi} = \epsilon_2$, $\epsilon_z^{mi} = \epsilon_3$.

Зададим связь между ИСК и ВСК $_1$, т. е. датчиком АД $_1$, с помощью ортогональной матрицы ориентации

$$S_0 = \begin{bmatrix} s_{x_1}^0 & s_{x_2}^0 & s_{x_3}^0 \\ s_{y_1}^0 & s_{y_2}^0 & s_{y_3}^0 \\ s_{z_1}^0 & s_{z_2}^0 & s_{z_3}^0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

а переход от ВСК $_1$ к ВСК $_m$ ($m = 2, 3, \dots, M$) — с

помощью матриц взаимной ориентации

$$S_0^m = \begin{bmatrix} s_{x_1}^{0m} & s_{x_2}^{0m} & s_{x_3}^{0m} \\ s_{y_1}^{0m} & s_{y_2}^{0m} & s_{y_3}^{0m} \\ s_{z_1}^{0m} & s_{z_2}^{0m} & s_{z_3}^{0m} \end{bmatrix}, \quad m = 2, 3, \dots, M. \quad (4)$$

Матрицы (3), (4) называют еще матрицами направляющих косинусов, поскольку их элементы выражаются через тригонометрические функции углов Крылова. Ортогональность обеспечивает свойства их обратимости и $S^{-1} = S^T$ (T — операция транспонирования). Поэтому элементы матриц ориентации нельзя рассматривать как независимые переменные, а независимыми будут либо углы Крылова, определяющие углы поворота при переходе от одной системы координат к другой, либо кватернион ориентации Λ . Например, выражение матрицы S_0 через Λ имеет вид

$$S_0(\Lambda) = I_3 - 2\lambda_0 \tilde{\lambda} + 2\tilde{\lambda} \tilde{\lambda}, \quad (5)$$

где $\Lambda^T = (\lambda_0, \lambda^T)$, $\lambda^T = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$, I_3 — единичная матрица размерности 3×3 , а $\tilde{\lambda}$ — кососимметричная матрица:

$$\tilde{\lambda} = \begin{bmatrix} 0 & -\lambda_3 & \lambda_2 \\ \lambda_3 & 0 & -\lambda_1 \\ -\lambda_2 & \lambda_1 & 0 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Кроме того, кватернион Λ должен удовлетворять условию нормировки $\lambda_0^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 = 1$.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Требуется по направлениям на звезды, установленным с помощью системы АД_m, $m = \overline{1, M}$, и соответствующих направлений на те же звезды из бортового каталога разработать алгоритм, обеспечивающий наилучшую точность определения ориентации КА по этим данным. Для этого следует использовать систему уравнений, которая получается на основе соотношений, связывающих выражения одних и тех же векторов в разных системах координат, связанных между собой матрицей поворотов. Вектор направления на i -ю звезду r^{mi} в системе координат ИСК с помощью двух матриц поворота преобразуется в вектор направления b^{mi} на ту же звезду в сис-

теме координат ВСК_m. Это дает следующую систему уравнений:

$$S_0 \cdot S_0^m \cdot b^{mi} = r^{mi}. \quad (7)$$

Матрица S_0^m при $m=1$ является единичной $S_0^1 = I_3$. Из (7) получаются уравнения для нахождения матрицы ориентации S_0

$$S_0^T \cdot r^{mi} = S_0^m \cdot b^{mi}, \quad m = \overline{1, M},$$

$$i = i(m) = 1, 2, \dots, n_m, \quad (8)$$

где S_0^T соответствует транспонированной матрице S_0 (3). При общем числе звезд в поле зрения всех астродатчиков больше трех уравнения (8) дают переопределенную систему уравнений для нахождения S_0 . Если такую переопределенную систему решать взвешенным методом наименьших квадратов (ВМНК), то приходим к задаче нахождения ортогональной матрицы S_0 , которая минимизирует функцию потерь, представляющую собой взвешенную сумму квадратов векторов — разностей между измеренными в ВСК_m и преобразованными направлениями на звезды b^{mi} и соответствующими ИСК векторами r^{mi} . Эту задачу применительно к проблеме ориентации КА впервые сформулировал Вахба [7]. Однако практического применения она не нашла в силу того, что элементы матрицы S_0 не являются независимыми, а определяются согласно (5) меньшим числом независимых переменных, выражаемых кватернионом ориентации или углами Крылова. Задачу Вахба при этом использовали как исходную, преобразуя ее к такому виду, при котором непосредственно находился кватернион ориентации [5].

В данной работе ставится задача не просто дать оценку кватерниона, а для каждой его составляющей, исходя из (1), (2) и интервального анализа, найти гарантированный интервал принадлежности точного значения. Тогда по его ширине можно судить об эффективности различных алгоритмов и выбирать проектные параметры системы определения ориентации, при которых достигается наиболее высокая точность. Такую задачу будем решать в два этапа. На первом из них по интервальным оценкам (1), (2) и уравнениям (8) находят гарантированные интервалы принадлежности точных значений элементов

матрицы ориентации, а на втором — по этим результатам определяются гарантированные интервалы для составляющих кватерниона.

Для реализации такого подхода необходимо достаточно близкое к точному знание матриц взаимной ориентации S_0^m . Поэтому предварительно должна быть решена задача определения ВСК_m ($m = \overline{2, M}$) по отношению к ВСК₁. Алгоритм решения такой задачи описан в работе [2]. Полагаем, что такая задача решена, и матрицы S_0^m нам известны с приемлемой точностью.

МЕТОД РЕШЕНИЯ

Запишем систему уравнений (7) в виде

$$S_0^T \cdot r^{mi} = \tilde{b}^{mi}, \quad (9)$$

где

$$\tilde{b}^i = S_0^m \cdot \tilde{b}^{mi}. \quad (10)$$

Интервальные оценки для вектора $\tilde{b}^{mi}$ можно получить из (1), (2) путем следующих действий. Сначала по измеренным значениям $\tilde{b}^{mi}$ определяются оценки вектора $\tilde{b}^{mi}$ из (10), а затем находятся интервалы принадлежности точных значений $\tilde{b}_T^{mi}$ для правых частей (9), которые запишем как

$$\begin{aligned} \tilde{b}_{Tx}^{mi} &\in [\tilde{b}_x^{mi} - \delta_x^m, \tilde{b}_x^{mi} + \delta_x^m], \\ \tilde{b}_{Ty}^{mi} &\in [\tilde{b}_y^{mi} - \delta_y^m, \tilde{b}_y^{mi} + \delta_y^m], \\ \tilde{b}_{Tz}^{mi} &\in [\tilde{b}_z^{mi} - \delta_z^m, \tilde{b}_z^{mi} + \delta_z^m], \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} \delta_x^m &= |s_{x_1}^{0m}| \varepsilon_1 + |s_{x_2}^{0m}| \varepsilon_2 + |s_{x_3}^{0m}| \varepsilon_3, \\ \delta_y^m &= |s_{y_1}^{0m}| \varepsilon_1 + |s_{y_2}^{0m}| \varepsilon_2 + |s_{y_3}^{0m}| \varepsilon_3, \\ \delta_z^m &= |s_{z_1}^{0m}| \varepsilon_1 + |s_{z_2}^{0m}| \varepsilon_2 + |s_{z_3}^{0m}| \varepsilon_3. \end{aligned} \quad (12)$$

Когда матрица взаимной ориентации S_0^m вычислена приближенно, и если известны интервальные оценки соответствующего ей кватерниона или углов Крылова, которые сравнимы по величине с (2), можно, модифицируя уравнения (12) на основе (10), получить уточненные оценки гарантированных интервалов. В рамках данной статьи полагаем, что расчетные погрешности оценивания S_0^m существенно меньше погрешностей измерения. Тогда имеем пе-

реопределенную систему линейных уравнений (9) относительно элементов матрицы S_0^T при неточно заданной правой части, определяемой интервальными оценками (11), (12).

Переопределенную систему уравнений (9) относительно элементов матрицы S_0^T (наблюдаемых звезд больше трех) перепишем в следующем блочно-диагональном виде:

$$\begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_1^0 \\ S_2^0 \\ S_3^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{b}_x \\ \tilde{b}_y \\ \tilde{b}_z \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где

$$R = \begin{bmatrix} r_{x_0}^{11} & r_{y_0}^{11} & r_{z_0}^{11} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{x_0}^{1n_1} & r_{y_0}^{1n_1} & r_{z_0}^{1n_1} \\ r_{x_0}^{21} & r_{y_0}^{21} & r_{z_0}^{21} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{x_0}^{2n_2} & r_{y_0}^{2n_2} & r_{z_0}^{2n_2} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{x_0}^{Mn_M} & r_{y_0}^{Mn_M} & r_{z_0}^{Mn_M} \end{bmatrix},$$

$$S_1^0 = \begin{bmatrix} s_{x_1}^0 \\ s_{y_1}^0 \\ s_{z_1}^0 \end{bmatrix}, \quad S_2^0 = \begin{bmatrix} s_{x_2}^0 \\ s_{y_2}^0 \\ s_{z_2}^0 \end{bmatrix}, \quad S_3^0 = \begin{bmatrix} s_{x_3}^0 \\ s_{y_3}^0 \\ s_{z_3}^0 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{b}_x = \begin{bmatrix} \tilde{b}_x^{11} \\ \vdots \\ \tilde{b}_x^{1n_1} \\ \tilde{b}_x^{21} \\ \vdots \\ \tilde{b}_x^{2n_2} \\ \vdots \\ \tilde{b}_x^{Mn_M} \end{bmatrix}, \quad \tilde{b}_y = \begin{bmatrix} \tilde{b}_y^{11} \\ \vdots \\ \tilde{b}_y^{1n_1} \\ \tilde{b}_y^{21} \\ \vdots \\ \tilde{b}_y^{2n_2} \\ \vdots \\ \tilde{b}_y^{Mn_M} \end{bmatrix}, \quad \tilde{b}_z = \begin{bmatrix} \tilde{b}_z^{11} \\ \vdots \\ \tilde{b}_z^{1n_1} \\ \tilde{b}_z^{21} \\ \vdots \\ \tilde{b}_z^{2n_2} \\ \vdots \\ \tilde{b}_z^{Mn_M} \end{bmatrix}.$$

В результате (13) распадается на три независимые подсистемы относительно искомых векторов S_1^0 , S_2^0 , S_3^0 . Каждая из них является переопре-

пределенной, когда

$$\sum_{m=1}^M n_m$$

больше трех, и их разрешимость определяется свойствами матрицы R . Она будет иметь ранг, равный трем, если найдется тройка векторов r^{mi} , не лежащих в одной плоскости. Когда же любая тройка векторов r^{mi} , являющихся векторами-строками матрицы R , не принадлежит одной плоскости, то все квадратные системы, получаемые из R удалением соответствующего числа строк, будут невырожденными. В этом случае комбинаторный метод решения, описанный в работе [1], будет наиболее эффективным. Однако не менее важно оценивать также степень близости к вырожденности, характеризуемой числом обусловленности соответствующих матриц. При большом числе обусловленности решения становятся чувствительными к погрешностям в данных. Приблизительно судить об обусловленности матриц с единичными векторами можно по углу между ними. Чем ближе этот угол к $\pi/2$, тем ближе число обусловленности к 1. Подобрать подходящую обусловленность можно путем варьирования в допустимых пределах матриц взаимной ориентации астродатчиков.

Комбинаторный метод [1] решения переопределенной системы уравнений (13) состоит из последовательности следующих действий. Для каждой независимой подсистемы формируется множество невырожденных квадратных систем уравнений, которых не более C_N^3 . Каждая квадратная система решается, и находятся все возможные оценки составляющих векторов S_1^0 , S_2^0 и S_3^0 . На основе правила Крамера по аналогии с (11), (12) устанавливаются покомпонентно интервальные оценки для всех взятых квадратных систем. При этом такие гарантированные оценки получены для самых неблагоприятных реализаций погрешности ξ в (1), (2). Однако в реальности вероятность такого события мала и следует ожидать более благоприятной реализации помехи. Учесть особенности реализованной при измерениях помехи можно с помощью нижеследующей процедуры. Сгруппируем все полученные результаты отдельно по каждой

составляющей векторов S_1^0 , S_2^0 и S_3^0 . Тогда пересечение всех интервалов в каждой группе даст оценку минимально возможному гарантированному множеству принадлежности точных значений для каждого элемента искомой матрицы ориентации. Этим можно завершить первый этап решения задачи.

Замечание 1. Когда N очень большое, можно ограничить число решаемых квадратных систем, задавшись некоторым предельно допустимым числом обусловленности, если выбросить те квадратные системы, которые превышают этот порог.

Замечание 2. Поскольку матрица R одна и та же для всех трех подсистем, и формируется она из достаточно высокоточных векторов r^{mi} , можно сделать предварительный отбор по числу обусловленности тех систем, которые можно отбросить.

Замечание 3. Строки и столбцы матрицы S_0 должны быть нормированными и попарно ортогональными. Это обстоятельство можно в определенных случаях использовать для сужения интервальных оценок на основе интервального анализа.

В предлагаемом подходе сохраним матрицу S_0 и интервальные оценки ее составляющих в том виде, как они были получены комбинаторным методом. Из (5), (6) нетрудно выразить квадратичные мономы для составляющих кватерниона в виде

$$\begin{aligned}\lambda_0^2 &= \alpha_0, \quad \lambda_1^2 = \alpha_1, \quad \lambda_2^2 = \alpha_2, \quad \lambda_3^2 = \alpha_3, \\ \lambda_0\lambda_1 &= \alpha_4, \quad \lambda_0\lambda_2 = \alpha_5, \quad \lambda_0\lambda_3 = \alpha_6, \\ \lambda_1\lambda_2 &= \alpha_7, \quad \lambda_1\lambda_3 = \alpha_8, \quad \lambda_2\lambda_3 = \alpha_9,\end{aligned}\quad (14)$$

где

$$\begin{aligned}\alpha_0 &= \frac{1}{4}(1 + s_{x_1}^0 + s_{y_2}^0 + s_{z_3}^0), \quad \alpha_1 = \frac{1}{4}(1 + s_{x_1}^0 - s_{y_2}^0 - s_{z_3}^0), \\ \alpha_2 &= \frac{1}{4}(1 - s_{x_1}^0 + s_{y_2}^0 - s_{z_3}^0), \quad \alpha_3 = \frac{1}{4}(1 - s_{x_1}^0 - s_{y_2}^0 + s_{z_3}^0), \\ \alpha_4 &= \frac{1}{4}(s_{x_2}^0 - s_{y_3}^0), \quad \alpha_5 = \frac{1}{4}(s_{x_3}^0 - s_{z_1}^0), \quad \alpha_6 = \frac{1}{4}(s_{y_1}^0 - s_{x_2}^0), \\ \alpha_7 &= \frac{1}{4}(s_{x_2}^0 + s_{y_1}^0), \quad \alpha_8 = \frac{1}{4}(s_{x_3}^0 + s_{z_1}^0), \quad \alpha_9 = \frac{1}{4}(s_{y_3}^0 + s_{z_2}^0).\end{aligned}\quad (15)$$

Зная интервальные оценки составляющих векторов S_1^0 , S_2^0 и S_3^0 , нетрудно вычислить на основе (15) гарантированные интервалы принадлежности правых частей уравнений (14). В результате получим

$$\alpha_j \in [\alpha_j^{(-)}, \alpha_j^{(+)}], \quad j = 0, 1, 2, \dots, 9. \quad (16)$$

Далее последовательно уточняем эти полученные интервальные оценки и знаки составляющих кватерниона. Из условия $\alpha_0 \geq 0$, $\alpha_1 \geq 0$, $\alpha_2 \geq 0$, $\alpha_3 \geq 0$ исключаются отрицательные части интервалов. Чисто отрицательных интервалов для этих α быть не может, поскольку это противоречит принципу гарантированного оценивания. В крайнем случае возможны интервалы с нулевой правой границей. Тогда эти кватернионы получаются равными нулю. Более того, все α_j , стоящие в правых частях (14), (15), должны удовлетворять условию $\alpha_j \leq 1$. Тогда, исходя из этого условия, следует уточнить оценки (16), удалив из них недопустимые части интервалов. После этого производим упорядочивание уравнений первой строки (14) по удалению нижней границы интервалов принадлежности α от нуля, расположив их в невозрастающем порядке. Пусть такое упорядочение дает последовательность уравнений

$$\lambda_{i1}^2 = \alpha_{i1}, \quad \lambda_{i2}^2 = \alpha_{i2}, \quad \lambda_{i3}^2 = \alpha_{i3}, \quad \lambda_{i4}^2 = \alpha_{i4}. \quad (17)$$

Из этих уравнений определяются интервальные оценки принадлежности кватернионов. Для тех λ_j , для которых $\alpha_j^{(-)} > 0$, интервалы принадлежности находятся по формуле

$$\lambda_j \in [\sqrt{\alpha_j^{(-)}}, \sqrt{\alpha_j^{(+)}}]$$

или

$$\lambda_j \in [-\sqrt{\alpha_p^{(+)}} , -\sqrt{\alpha_p^{(-)}}]. \quad (18)$$

Знак λ_j , т. е. выбор одной из этих формул, устанавливается по предшествующей оценке λ_j , полагая при этом, что дискретность измерений по времени такова, что приращение $\Delta\lambda_j$ на шаге дискретизации также мало. Для тех j , для которых $\alpha_j^{(-)} = 0$, интервальная оценка находится по формуле

$$\lambda_j \in [-\sqrt{\alpha_j^{(+)}} , \sqrt{\alpha_j^{(+)}}]. \quad (19)$$

Любой нормированный кватернион, принадлежащий интервалам (18), (19), можно брать в качестве оценки $\hat{\Lambda}$, поскольку вероятностные свойства погрешностей измерения в данном подходе не учитываются. Однако кватернион, наиболее близко расположенный к серединам этих интервалов, является предпочтительным, так как он гарантированно ближе к точному значению при самых наихудших реализациях погрешности, удовлетворяющей (2). Самый простой способ его приближенного выбора состоит в следующем. Для трех самых малых интервалов принадлежности кватерниона взять среднее значение, а для оставшейся составляющей взять значение из условия нормировки. Если при этом окажемся за пределами интервала, то простым перемещением следует расположить кватернион в допустимой области.

Привлекая другие уравнения из (14), можно улучшить результат как в отношении ширины интервалов, так и по уточнению знака составляющих, близких к нулю. Для этого необходимо рассмотреть все возможные случаи расположения интервалов принадлежности α_j ($j = 5, 9$) относительно нуля. Так, в случае, когда все эти интервалы не содержат точки ноль, можно применить приведенный ниже алгоритм. Для двух наиболее удаленных от нуля составляющих λ_{i3} , λ_{i4} привлекаем уравнение

$$\lambda_{i3} \cdot \lambda_{i4} = \alpha_{i5}. \quad (20)$$

При известных знаках α_{i5} и λ_{i4} из (20) непосредственно устанавливается знак λ_{i3} . Это же уравнение совместно с уравнениями для λ_{i3}^2 и λ_{i4}^2 позволяет найти интервальные оценки принадлежности λ_{i3} и λ_{i4} . В случае $\alpha_{i5}^{(-)} > 0$ их можно записать как

$$\lambda_{i3} \in \left[\frac{\alpha_{i5}^{(-)}}{\lambda_{i4}^{(+)}} , \frac{\alpha_{i5}^{(+)}}{\lambda_{i4}^{(-)}} \right] \text{ или } \lambda_{i3} \in \left[-\frac{\alpha_{i5}^{(+)}}{\lambda_{i4}^{(-)}} , -\frac{\alpha_{i5}^{(-)}}{\lambda_{i4}^{(+)}} \right],$$

$$\lambda_{i4} \in \left[\frac{\alpha_{i5}^{(-)}}{\lambda_{i3}^{(+)}} , \frac{\alpha_{i5}^{(+)}}{\lambda_{i3}^{(-)}} \right] \text{ или } \lambda_{i4} \in \left[-\frac{\alpha_{i5}^{(+)}}{\lambda_{i3}^{(-)}} , -\frac{\alpha_{i5}^{(-)}}{\lambda_{i3}^{(+)}} \right], \quad (21)$$

в зависимости от того, какой знак имеет λ_{i4} . Аналогично в зависимости от знака λ_{i4} записываются интервальные оценки, когда $\alpha_{i5}^{(+)} < 0$:

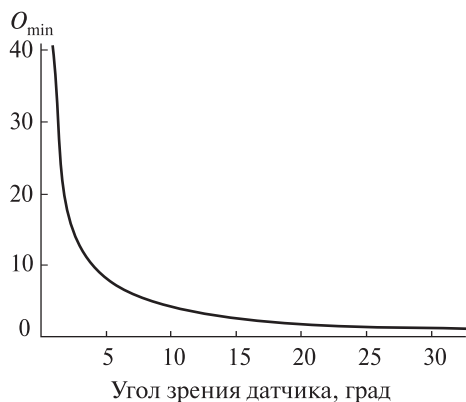


Рис. 1. Обусловленность $O_{\min}$ системы уравнений для двух астродатчиков

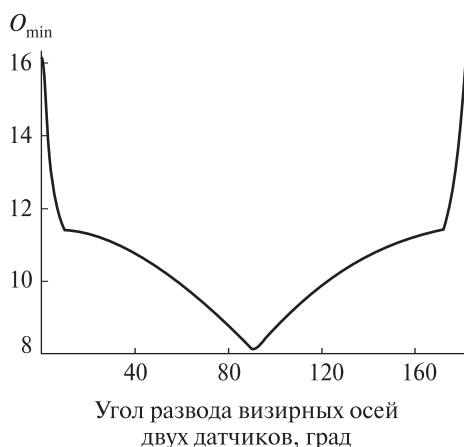


Рис. 2. Обусловленность системы уравнений для двух астродатчиков

Таблица 1. Обусловленность системы уравнений для одного астродатчика

Угол зрения датчика, град	1	5	10	20
Минимально возможная обусловленность матрицы R	81.02	16.6	8.02	3.89

Таблица 2. Обусловленность системы уравнений для разного количества астродатчиков

Количество астродатчиков	1	2	3
Минимально возможная обусловленность матрицы R	16.6	8.1	1

$$\lambda_{i3} \in \left[-\frac{\alpha_{i5}^{(-)}}{\lambda_{i4}^{(+)}} , -\frac{\alpha_{i5}^{(+)}}{\lambda_{i4}^{(-)}} \right] \text{ или } \lambda_{i3} \in \left[\frac{\alpha_{i5}^{(+)}}{\lambda_{i4}^{(-)}} , \frac{\alpha_{i5}^{(-)}}{\lambda_{i4}^{(+)}} \right],$$

$$\lambda_{i4} \in \left[-\frac{\alpha_{i5}^{(-)}}{\lambda_{i3}^{(+)}} , -\frac{\alpha_{i5}^{(+)}}{\lambda_{i3}^{(-)}} \right] \text{ или } \lambda_{i4} \in \left[\frac{\alpha_{i5}^{(+)}}{\lambda_{i3}^{(-)}} , \frac{\alpha_{i5}^{(-)}}{\lambda_{i3}^{(+)}} \right]. \quad (22)$$

С помощью следующей пары уравнений из (14)

$$\lambda_{i2} \cdot \lambda_{i3} = \alpha_{i6}, \lambda_{i2} \cdot \lambda_{i4} = \alpha_{i7} \quad (23)$$

можно определить знак λ_{i2} и уточнить интервальную оценку принадлежности λ_{i2} . Из (23) по аналогии с (21) или (22) можно получить два интервала принадлежности λ_{i2} .

Наконец, последняя группа уравнений

$$\lambda_{i1} \cdot \lambda_{i4} = \alpha_{i8}, \lambda_{i1} \cdot \lambda_{i3} = \alpha_{i9}, \lambda_{i1} \cdot \lambda_{i2} = \alpha_{i10} \quad (24)$$

позволяет получить дополнительно три интервала принадлежности λ_{i1} .

В результате, зная только знак максимальной по величине составляющей λ_{i4} , однозначно определились знаки остальных составляющих.

Путем пересечения интервальных оценок составляющих кватерниона (18) с учетом их знаков с оценками, полученными на основе уравнений (18) или (19), а также (23), (24), уточняем оценки (18).

Замечание 4. Значение λ_{i4} по величине всегда больше или равно 0.5. Его знак не может поменяться на противоположный по отношению к предшествующему по времени измерению за достаточно малый временной интервал. Поэтому достаточно знать знак максимальной составляющей кватерниона только в начальный момент времени. После этого все остальные знаки определяются однозначно.

Описанный комбинаторный метод оценивания гарантированных интервалов и нахождения нормированного кватерниона, принадлежащего этим интервалам, позволяет получать высокоточную оценку кватерниона. Об этом свидетельствуют результаты вычислительных экспериментов, которые описаны ниже. Достоинство приведенного алгоритма состоит в том, что он позволяет эффективно распараллеливать процесс вычислений, обеспечивая таким образом высокое быстродействие даже при большом количестве звезд, попавших в поле зрения кластера астродатчиков.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Рассматривались три варианта построения астроизмерительной системы: с одним датчиком, двумя и тремя. В случае двух и трех АД исследовалась зависимость результата от их взаимного расположения. Как было сказано, получаемые оценки существенно зависят от числа обусловленности матриц квадратных систем, которое в свою очередь определяется расположением звезд в кадре. Поэтому для одного, двух и трех датчиков были найдены оптимальные расположения звезд и определены минимальные значения числа обусловленности.

Результаты моделирования для одного АД с разными угловыми размерами поля зрения представлены в табл. 1.

На рис. 1 показана зависимость минимально-возможной обусловленности матрицы R системы (13) для двух АД, расположенных под прямым углом, от угла поля зрения датчиков.

На рис. 2 показана зависимость минимально-возможной обусловленности для двух АД, с полем зрения в 5° от угла между их визирными осями.

Для трех АД, расположенных взаимно ортогонально, минимальное значение обусловленности системы (13) равно единице. Минимально-возможная обусловленность матрицы R системы (13) для одного, двух и трех АД с полем зрения 5° приведена в табл. 2.

Проведены вычислительные эксперименты с различными реализациями случайной погрешности, удовлетворяющей (1), (2). Количество звезд N варьировалось случайным образом. Начальный набор звезд был выбран так, чтобы обеспечить наименьшую обусловленность. Далее к нему поочередно добавлялись звезды со случайно сгенерированными координатами.

Если отказаться от оптимального расположения начального набора звезд, и также их выбирать случайным образом, то при малых N для одного АД получаем сильный разброс интервалов принадлежности (18), т.е. результат оказывается чувствительным к конкретной реализации погрешности измерения.

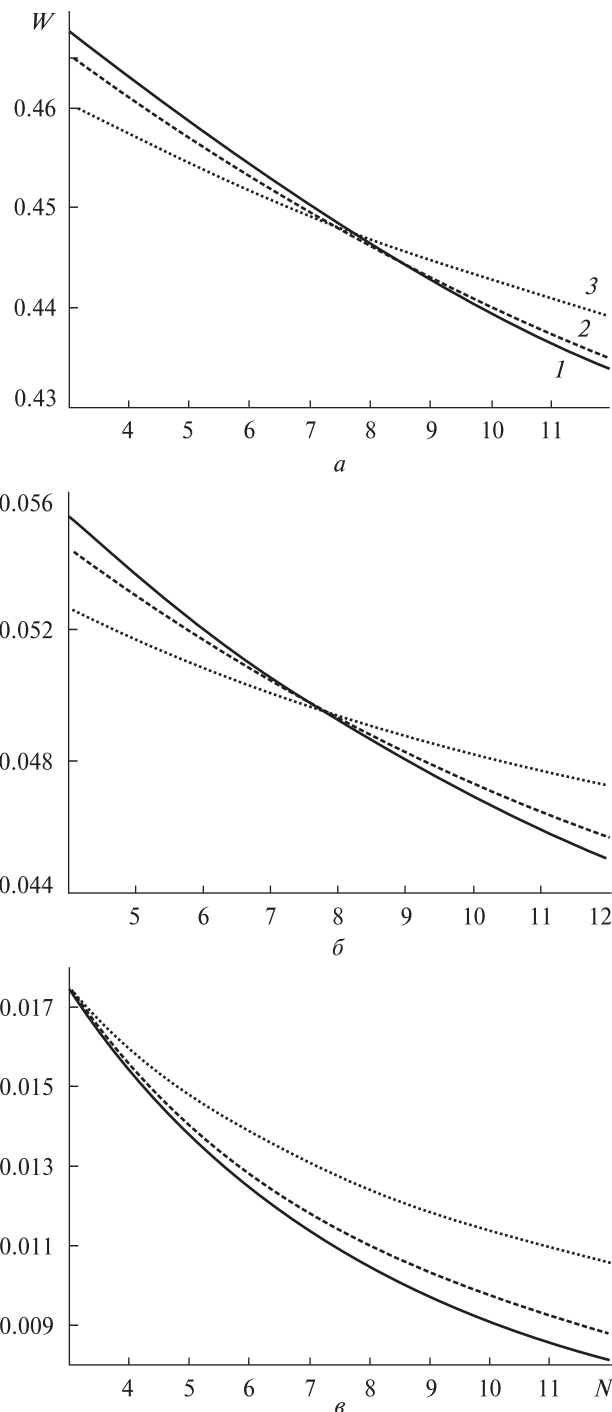


Рис. 3. Ширина W гарантированных интервалов: a — для одного астродатчика, b — для двух астродатчиков, v — для трех астродатчиков (1 — распределение ошибок, 2 — равномерное распределение, 3 — гауссовское распределение)

На рис. 3, а для одного АД показана зависимость ширины гарантированных интервалов составляющих матрицы ориентации S_0 от N , начиная с $N = 3$ при угле зрения 5° . Предполагалось, что ошибка измерения направления на звезды ограничена величиной 0.05° . Приведенные значения являются усреднением по 1000 реализаций ошибок измерений.

Сплошная линия представляет распределение ошибок, с максимумами плотности на краях гарантированного интервала. Штрих-пунктирная линия соответствует равномерному распределению. Пунктирная линия характеризует распределение, подобное гауссовскому. Для двух и трех датчиков эксперименты проводились с теми же параметрами.

Результаты аналогичных экспериментов с двумя и тремя датчиками приведены на рис. 3, б, в.

На рис. 3, б показана зависимость ширины гарантированных интервалов от N , начиная с $N = 4$ для двух АД, расположенных перпендикулярно относительно друг друга.

На рис. 3, в продемонстрированы зависимости ширины гарантированных интервалов для измерительной системы из трех АД, размещенных взаимно перпендикулярно.

Проведенные эксперименты показали, что для АД с углом поля зрения в 5° измерительная система с двумя датчиками дает решение примерно в восемь раз, а система с тремя — примерно в 40 раз точнее, чем один АД.

Переход от одного АД к трем АД привел к увеличению точности в среднем до 40 раз, при том что минимальная обусловленность уменьшается лишь в 16.6 раза. Это подтверждает, что чувствительность решения к реализациям положений звезд в поле видимости системы заметно уменьшалась.

Если в случае трех АД брать квадратные системы, которые содержат только звезды от разных АД, то разброс по обусловленности практически исчезает. Данный результат с тремя астродатчиками важен для практического применения, поскольку в этом случае при соответствующем выборе $n_1 \approx n_2 \approx n_3$ можно получить наилучшую точность оценивания, робастную по отношению к тем звездам, которые оказались в кадре каждого АД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комбинаторный метод в сочетании с кластерным измерительным звездным комплексом, предлагаемый в статье для решения задачи определения ориентации КА, позволяет получать более высокую точность оценивания. Особенно он эффективен при использовании трех астродатчиков, когда достигается высокая точность и робастность по отношению к попавшим в кадр звездам. Дальнейшее увеличение кластера АД будет приводить к улучшению результата, но не так существенно, как это произошло для трех АД в сравнении с одним и двумя АД. Манипулируя взаимным расположением АД и количеством звезд n_m ($m = 1, 2, 3$), можно обеспечить высокую точность при использовании комбинаторных алгоритмов расчета с наилучшими значениями сингулярных чисел квадратных систем линейных алгебраических уравнений.

Хотя при этом приходится решать большое число таких уравнений, но это же обстоятельство позволяет очень эффективно распараллеливать вычислительный процесс, приближаясь по быстродействию к случаю с одним квадратным уравнением третьего порядка. Все логические операции алгоритма также поддаются распараллеливанию.

В дальнейшем планируется применить описанный подход к задаче определения матриц взаимной ориентации АД в кластере.

Работа выполнена при финансовой поддержке Целевой комплексной программы НАН Украины по научным космическим исследованиям на 2012—2016 гг.

1. Губарев В. Ф., Мельничук С. В. Алгоритмы гарантированного оценивания состояния линейных систем при наличии ограниченных помех // Проблемы управления и информатики. — 2015. — № 2. — С. 26—34.
2. Ефименко Н. В. Взаимная привязка внутренних систем координат астродатчиков в задаче высокоточного определения ориентации космического аппарата // Космічна наука і технологія. — 2013. — 19, № 6. — С. 12—17.
3. Ефименко Н. В. Повышение точности определения ориентации космического аппарата по звездам путем совместной обработки выходной информации

двух астродатчиков // Космічна наука і технологія. — 2014. — 20, № 3. — С. 22—27.

4. Захаров А. И., Прохоров М. Г., Тучин М. С., Жуков А. О. Минимальные технические характеристики звездного датчика ориентации, необходимые для достижения заданной погрешности // Астрофиз. бюл. — 2013. — 68, № 4. — С. 507—520.
5. Davenport P. A vector approach in the algebra of rotations with applications // NASA Techn. Note. — 1968. — D — 4696.
6. Farrell J. L., Stuelpnagel J. C., Wessner R. H., et al. A least square estimate of spacecraft attitude // SIAM Rev. — 1966. — 8, N 3. — P. 384—386.
7. Wahba G. A. Least squares estimate of spacecraft attitude // SIAM Rev. — 1965. — 7, N 3. — P. 409—411.

Стаття надійшла до редакції 30.08.16

REFERENCES

1. Gubarev V. F., Melnychuk S. V. Guaranteed state estimation algorithms for linear systems in the presence of bounded noise. *Journal of Automation and Information Sciences*, No. 2, 26—34 (2015).
2. Efimenko N. V. Mutual relations of internal coordinate systems of star sensors in the problem of accurate determination of spacecraft orientation. *Kosm. nauka technol.*, 19 (6), 12—17 (2013).
3. Efimenko N. V. Determining spacecraft orientation using information from two jointly processed star trackers. *Kosm. nauka technol.*, 20 (3), 22—27 (2014).
4. Zakharov A. I., Prokhorov M. E., Tuchin M. S., Zhukov A. O. Minimum Star Tracker Specifications Required to Achieve a Given Attitude Accuracy. *Astrophysical Bulletin*, 68 (4), 507—520 (2013).
5. Davenport P. A vector approach in the algebra of rotations with applications. *NASA Techn. Note*, D4696 (1968).
6. Farrell J. L., Stuelpnagel J. C., Wessner R. H., Velman J. R., Brock J. E. A least square estimate of spacecraft attitude. *SIAM Rev.*, 8 (3), 384—386 (1966).

7. Wahba G. A. Least squares estimate of spacecraft attitude. *SIAM Rev.*, 7 (3), 409—411 (1965).

В. Ф. Губарєв, С. В. Мельничук

Інститут космічних досліджень
Національної академії наук України
і Державного космічного агентства України, Київ

КОМБІНАТОРНИЙ МЕТОД ІНТЕРВАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ ОРІЄНТАЦІЇ КОСМІЧНОГО АПАРАТА ЗА ВИМІРЮВАННЯМИ АСТРОДАТНИКІВ

Пропонується метод знаходження інтервальних оцінок параметрів орієнтації космічного апарата. Вихідними даними задачі є вимірювання астродатників. Розглядаються системи з одним, двома і трьома датниками. Проводиться порівняння точності розв'язку за шириною інтервальних оцінок параметрів орієнтації.

Ключові слова: комбінаторний метод, астродатник, гарантоване оцінювання орієнтації, інтервальне оцінювання.

V. F. Gubarev, S. V. Melnychuk

Space Research Institute
of the National Academy of Science of Ukraine
and the National Space Agency of Ukraine, Kyiv

COMBINATORIC METHOD FOR INTERVAL ESTIMATION OF A SPACECRAFT ATTITUDE BASED ON STAR TRACKER MEASUREMENTS

We propose a method for finding interval estimates of a spacecraft attitude. The input data of the problem are measurements from star trackers. Systems with one, two or three sensors are considered. A comparison of the accuracy is made by the width of interval estimates of the orientation parameters.

Keywords: combinatoric method, star tracker, guaranteed estimation of attitude, interval estimation.

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2016.06.020>

УДК 629.78

А. И. Маслова, А. В. Пироженко

Институт технической механики Национальной академии наук Украины
и Государственного космического агентства Украины, Днепро

ИЗМЕНЕНИЕ ОРБИТЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАЛОГО ПОСТОЯННОГО ТОРМОЖЕНИЯ

Рассмотрена задача торможения спутника на низкой почти круговой орбите постоянным трансверсальным ускорением. Предложено использование новых переменных, описывающих движение и учитывающих особенность движения по почти круговым орбитам. Проанализированы основные закономерности движения и получены конечные аналитические выражения, позволяющие с высокой точностью описывать изменения параметров орбиты.

Ключевые слова: космический мусор, увод объектов с орбит, малое тормозящее ускорение, изменение орбиты.

В проекте LEOSWEEP (Improving Low Earth Orbit Security With Enhanced Electric Propulsion) рассматривается концепция увода объектов космического мусора, основанная на использовании воздействия на объекты плазменного пучка ионного двигателя [<http://www.leosweep.upm.es>, 2]. В рамках проекта рассматривается увод объектов с низких почти круговых околоземных орбит (высота орбит до 1000 км). Предполагается, что расстояние между уводимым объектом (целью) и специальным космическим аппаратом (пастухом) поддерживается почти постоянным, и сила, действующая на цель, почти постоянна и направлено по трансверсали к орбите. Для оценки предлагаемой концепции увода возникла задача анализа изменения орбиты спутника под действием малого постоянного тормозящего ускорения.

Исследования задачи движения спутника с малой постоянной тягой восходит к работам классиков отечественной механики космического полета [1, 3, 4]. Уже к 1970 гг. были изучены основные закономерности движения для

рассматриваемой задачи [1, 3, 4, 6]. Вместе с тем ранее основное внимание исследователей было сосредоточено на вопросах разгона спутника и использования двигателей малой тяги для межпланетных перелетов [1, 3]. В нашей работе рассмотрена задача торможения спутника на низкой около круговой орбите постоянным трансверсальным ускорением. Использование новых переменных, описывающих движение, как представляется, позволило более просто получить ясные конечные формулы изменения параметров движения спутника в рассматриваемой задаче.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается движение спутника в гравитационном поле ньютоновского притягивающего центра. Предполагается, что кроме гравитационной силы на спутник действует постоянная по величине и направленная строго по касательной к орбите малая тормозящая сила. Предполагается также, что начальная орбита движения спутника близка к круговой. Требуется оценить изменение орбиты спутника с течением времени.

© А. И. МАСЛОВА, А. В. ПИРОЖЕНКО, 2016

УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ

Уравнение движения центра масс спутника имеет вид

$$\ddot{\mathbf{R}} = -\frac{\mu \mathbf{R}}{R^3} + \mathbf{F}, \quad (1)$$

где $\mathbf{R}$ — радиус-вектор центра масс спутника относительно притягивающего центра, μ — постоянная гравитационного поля, $\mathbf{F}$ — возмущающее ускорение, точками обозначаются производные по времени.

Введем инерциальную ($OXYZ$) и орбитальную ($Oxyz$) правые системы координат (СК) с началом в притягивающем центре O . Оси $Oxyz$ определяются следующим образом: ось Ox направлена вдоль $\mathbf{R}$, ось Oy — в плоскости мгновенной орбиты в сторону движения спутника; ось Oz — по бинормали к орбите.

Умножая векторно (1) слева на $\mathbf{R}$, получим

$$\mathbf{R} \times \ddot{\mathbf{R}} = (\mathbf{R} \times \dot{\mathbf{R}}) = \dot{\mathbf{L}} = \mathbf{M} = \mathbf{R} \times \mathbf{F},$$

где $\mathbf{L}$ — удельный кинетический момент движения центра масс, $\mathbf{M}$ — возмущающий момент. По построению орбитальной СК $\mathbf{L} = L\mathbf{e}_3$, где $\mathbf{e}_3$ — орт оси Oz . Тогда

$$\dot{\mathbf{L}} = \dot{L}\mathbf{e}_3 + L\boldsymbol{\omega}_0 \times \mathbf{e}_3, \quad (2)$$

где $\boldsymbol{\omega}_0$ — угловая скорость $Oxyz$ относительно $OXYZ$.

Проектируя (2) на оси орбитальной СК, получим

$$\dot{L} = M_3, \quad \omega_{20}L = M_1 = 0, \quad \omega_{10}L = -M_2,$$

где индексами 1, 2, 3 обозначены проекции на оси Ox , Oy и Oz соответственно.

Следовательно, $\omega_{20} = 0$, $\omega_{10} = -M_2 / L$.

Так как $\mathbf{L} = L\mathbf{e}_3 = \mathbf{R} \times \dot{\mathbf{R}} = R^2\boldsymbol{\omega}_{30}\mathbf{e}_3$, то $\omega_{30} = L / R^2$.

Используя, например, кинематические соотношения для углов Эйлера

$$\omega_{10} = \dot{\Omega} \sin i \sin u + \frac{di}{dt} \cos u,$$

$$\omega_{20} = \dot{\Omega} \sin i \cos u - \frac{di}{dt} \sin u,$$

$$\omega_{30} = \dot{\Omega} \cos i + \dot{u},$$

и учитывая, что в кеплеровом движении $L = \sqrt{\mu p}$, где p — фокальный параметр орбиты, получим

первую группу уравнений возмущенного кеплерова движения:

$$\begin{aligned} \frac{di}{dt} &= \frac{R}{p} \cos u \tilde{F}_3, & \dot{\Omega} &= \frac{R \sin u}{p \sin i} \tilde{F}_3, \\ \dot{p} &= 2R\tilde{F}_2, & \dot{u} &= \frac{\sqrt{\mu p}}{R^2} - \frac{R}{p} \sin u \operatorname{ctg} i \tilde{F}_3, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\tilde{F}_i = \sqrt{\frac{p}{\mu}} F_i$, ($i = 1, 2, 3$), F_1, F_2, F_3 — соответственно радиальное, трансверсальное и нормальное возмущающие ускорения; Ω, u, i — углы Эйлера (прецессия, чистое вращение, нутация), имеющие в теории космического полета названия аргумента восходящего узла орбиты, аргумента широты и наклона орбиты соответственно.

Проектируя (1) на Ox с учетом, что

$$\ddot{\mathbf{R}}\mathbf{e}_1 = \ddot{R} - \omega_{30}^2 R,$$

где $\mathbf{e}_1$ — орт оси Ox , получим

$$\ddot{R} - \frac{L^2}{R^3} = -\frac{\mu}{R^2} + F_1. \quad (4)$$

Пусть начальная орбита центра масс почти круговая, $R \approx p$, или мгновенная кеплерова орбита имеет малый эксцентриситет ($e \ll 1$).

Для рассматриваемых почти круговых орбит за опорную (исходную невозмущенную орбиту) целесообразно брать не кеплерову эллиптическую орбиту, а круговую [5, 7]. Дело в том, что для почти круговых орбит при действии возмущений понятие эксцентриситета может терять смысл, поскольку учитываемые эксцентриситетом отклонения орбиты от круговой могут быть соизмеримы с отклонением орбит от кеплеровых, вносимых возмущениями. Именно с этим связано вырождение классических уравнений возмущенного кеплерова движения.

Введем новые переменные b_1 и b_2 следующим образом:

$$R = p(1 + b_1), \quad \dot{R} = b_2 \sqrt{\mu/p}. \quad (5)$$

Параметр b_1 — отклонение текущего радиуса возмущенной орбиты от ее фокального параметра, отнесенное к p . Параметр b_2 — радиальная скорость на возмущенной орбите, отнесенная к скорости движения по круговой орбите. В силу

постановки задачи b_1 и b_2 — малые величины, $b_i \ll 1$.

Дифференцируя первое уравнение (5) по времени, получим

$$\dot{b}_1 = b_2 \sqrt{\mu/p^3} - 2(1+b_1)^2 \tilde{F}_2. \quad (6)$$

Дифференцируя второе равенство (5) с учетом (3), (4), получим

$$\dot{b}_2 = b_2(1+b_1)\tilde{F}_2 + \tilde{F}_1 - \sqrt{\frac{\mu}{p^3}} \frac{b_1}{(1+b_1)^3}. \quad (7)$$

Уравнения (3), (4), (7) — уравнения возмущенного кеплерова движения для почти круговых орбит [5, 7].

ПОСТРОЕНИЕ УРАВНЕНИЙ ПЕРВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ И ИХ РЕШЕНИЙ

В силу постановки задачи $F_1 = F_3 = 0$, а $F_2 = \text{const} \ll 1$. Тогда уравнения движения спутника примут вид

$$\begin{aligned} \dot{\Omega} &= 0, \quad \frac{di}{dt} = 0, \quad \dot{u} = \sqrt{\frac{\mu}{p^3}} z^{-2}, \\ \dot{\gamma} &= 2zs\tilde{F}_2, \\ \dot{b}_1 &= b_2 \sqrt{\frac{\mu}{p^3}} - 2z^2 \tilde{F}_2, \\ \dot{b}_2 &= b_2 z \tilde{F}_2 - \sqrt{\frac{\mu}{p^3}} \frac{b_1}{z^3}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $p = p_0(1+\gamma)$ — фокальный параметр орбиты, p_0 — начальное значение фокального параметра, $z = 1+b_1$, $s = 1+\gamma$, γ , как и b_1 , b_2 — малая величина.

Последних три уравнения (8) не зависят от изменения углов и описывают изменения формы орбиты в ее плоскости.

Введем для b_1 и b_2 новые переменные: амплитуду A и фазу w колебаний следующим образом:

$$b_1 = A \sin w, \quad b_2 = A \cos w.$$

То есть, используем классическую замену переменных метода усреднения, «заставляя» радиус орбиты совершать гармонические колебания относительно фокального параметра, а всю «нелинейность» динамики «загоним» в фазу этих колебаний.

Нетрудно видеть, что

$$\begin{aligned} \dot{A} &= \dot{b}_1 \sin w + \dot{b}_2 \cos w, \quad A\dot{w} = \dot{b}_1 \cos w - \dot{b}_2 \sin w, \\ \text{или} \\ \dot{A} &= \left(A \cos w \sqrt{\frac{\mu}{p^3}} - 2(1+A \sin w)^2 \tilde{F}_2 \right) \sin w + \\ &+ \left(A \cos w \cdot (1+A \sin w) \tilde{F}_2 - \sqrt{\frac{\mu}{p^3}} \frac{A \sin w}{(1+A \sin w)^3} \right) \cos w, \\ A\dot{w} &= \left(A \cos w \sqrt{\frac{\mu}{p^3}} - 2(1+A \sin w)^2 \tilde{F}_2 \right) \cos w - \\ &- \left(A \cos w \cdot (1+A \sin w) \tilde{F}_2 - \sqrt{\frac{\mu}{p^3}} \frac{A \sin w}{(1+A \sin w)^3} \right) \sin w. \end{aligned}$$

Производная A пропорциональна $A^2 \sqrt{\mu/p^3}$ и $\tilde{F}_2$, а $\dot{w} \propto \sqrt{\mu/p^3}$. Так как A^2 и $\tilde{F}_2 / \sqrt{\mu/p^3} = F_2 / (\mu/p^2)$ (что равно отношению трансверсального ускорения к ускорению свободного падения на рассматриваемой высоте) малые величины, то переменные A и w являются медленными переменными, а w — быстрой.

Осредненные по быстрой переменной (фазе) уравнения изменения A и w дают уравнения первого приближения с точностью порядка $\varepsilon = \max\{A^2, F_2 / (\mu/p^2)\}$, описывающие изменение A и w на интервале времени порядка $2\pi/\varepsilon$ оборотов спутника вокруг Земли.

Уравнения первого приближения имеют вид

$$\dot{A} = -\frac{3}{2} A \sqrt{\frac{p_0 s}{\mu}} F_2, \quad (9)$$

$$\dot{s} = 2s \sqrt{\frac{p}{\mu}} F_2 \quad \text{или} \quad \dot{s} = 2s^{3/2} \sqrt{\frac{p_0}{\mu}} F_2. \quad (10)$$

Эти уравнения легко интегрируются. Проинтегрировав (10), найдем

$$\sqrt{s} = \frac{1}{s_0^{-1/2} - \sqrt{\frac{p_0}{\mu}} F_2 t} = \frac{\sqrt{s_0}}{1 - \sqrt{\frac{p_0 s_0}{\mu}} F_2 t},$$

где s_0 — начальное значение s , $s_0 = 1$ Тогда

$$p = \frac{p_0}{\left(1 - \sqrt{\frac{p_0}{\mu}} F_2 t\right)^2}. \quad (11)$$

Подставив решение (11) в (9), получим

$$A = A_0 \sqrt{1 - \sqrt{\frac{p_0}{\mu}} F_2 t}^3, \quad (12)$$

где A_0 — начальное значение амплитуды.

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕШЕНИЙ И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ

Расчеты показали не только качественное соответствие полученных формул, но и высокую точность решений уравнений первого приближения даже на длительном интервале времени. На рис. 1 представлены изменения b_1 , полученные интегрированием исходных уравнений (8) (тонкая сплошная линия), и изменения амплитуды колебаний b_1 по аналитической зависимости (12) (жирная курсивная линия). Как видно, отклонений в решениях не наблюдается. Таким образом, полученные формулы могут быть использованы для длительного прогнозирования изменений движения.

Перейдем к анализу закономерностей движения. Из выражения (11) следует, что при действии на спутник малого возмущающего трансверсального ускорения, направленного в противоположную сторону его движения ($F_2 < 0$), фокальный параметр будет медленно уменьшаться относительно своего начального значения. Для относительно небольшого промежутка времени это уменьшение близко к равномерному.

Из выражения (11) легко можно найти время T , за которое фокальный параметр снизится на интересующую нас высоту $H = p_0 - p(T)$:

$$T = \frac{\sqrt{1 - \frac{H}{p_0}} - 1}{\sqrt{\frac{p_0 - H}{\mu}} F_2}.$$

Характер зависимости T от начального значения фокального параметра $p_0^* = p_0 - R_z$, где R_z — средний радиус Земли, и тормозящего ускорения F_2 представлен на рис. 2. Как видим, время снижения: слабо зависит от начального значения фокального параметра для его рассматриваемого диапазона; почти обратно пропорционально увеличению силового воздействия F_2 .

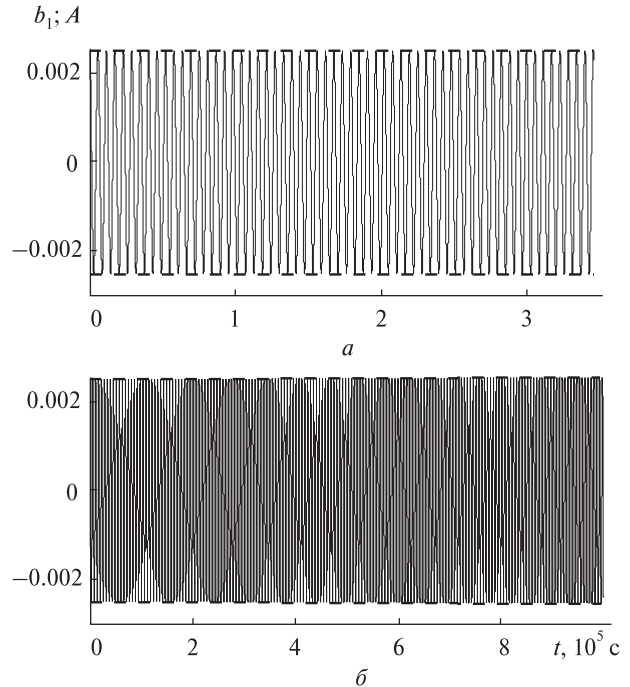


Рис. 1. Изменение b_1 и A для $b_{10} = A_0 = 0.0025$, $b_{20} = 0$, $\gamma = 0$: а — при $F_2 = -0.1$ мм/с², б — при $F_2 = -1$ мм/с²

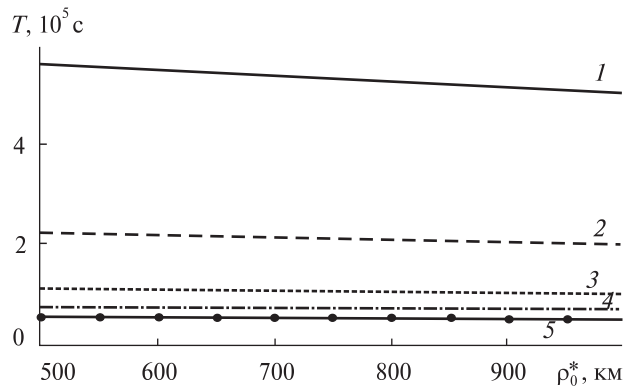


Рис. 2. Зависимость времени снижения T фокального параметра на 100 км ($H = 100$ км) от значений p_0 . Кривые 1 — 5 — для $F_2 = -0.1, -0.25, -0.5, -0.75$ и -1.0 мм/с² соответственно

Из выражения (12) следует, что амплитуда колебаний b_1 и b_2 при тормозящем ускорении увеличивается во времени. Решение (12) можно записать в виде

$$A = A_0 (p_0/p)^{3/4}. \quad (13)$$

Из выражения (13) легко видно, что уменьшение фокального параметра сопровождается увеличением амплитуды A (эксцентриситета) орбиты. Вместе с тем для рассматриваемых низких околоземных орбит это увеличение весьма незначительно. Например, при изменении высоты орбиты с 1000 до 500 км амплитуда (или эксцентриситет мгновенной орбиты) увеличится менее чем на 5.4 %. Поэтому можно говорить, что малое трансверсальное ускорение не изменяет характера почти круговой орбиты для низких околоземных орбит.

«Механику» малого изменения эксцентриситета орбиты можно объяснить следующим образом. Трансверсальное ускорение в вековом движении изменяет лишь энергию вращательного движения спутника относительно притягивающего центра. Энергию же колебаний R относительно среднего значения оно не изменяет (это нетрудно показать строго для рассматриваемой задачи [7]). Поэтому амплитуда колебаний R увеличивается только за счет изменения p , а не за счет увеличения энергии этих колебаний.

ВЫВОДЫ

1. Исследована задача об основных закономерностях изменения низкой околоземной орбиты спутника под действием малого постоянного трансверсального торможения. Получены конечные аналитические выражения, позволяющие с высокой точностью описывать изменение параметров орбиты.

2. Использование переменных, учитывающих близость изменений расстояния R к гармоническим колебаниям для почти круговых орбит, позволило значительно упростить исследование задачи.

3. Показано, что при малом постоянном трансверсальном ускорении изменение эксцентриситета орбиты весьма незначительно, и для рассматриваемых низких околоземных орбит орбита остается почти круговой.

Работа выполнена при поддержке 7th Framework Programme, проект LEOSWEEP (Improving Low

Earth Orbit Security With Enhanced Electric Propulsion), N 607457.

1. Белецкий В. В. Очерки по механике космического полета. — 3-е изд. — М.: Изд-во ЛКИ, 2009. — 432 с.
2. Бомбарделли К., Алпатов А. П., Пироженко А. В. и др. Проект «Космического пастуха» с ионным лучом. Идеи и задачи // Космічна наука і технологія. — 2014. — **20**, № 2. — С. 55—60.
3. Евтушенко Ю. Г. Влияние касательного ускорения на движение спутника // Прикл. мат. и мех. — 1966. — **30**, № 3. — С. 317—323.
4. Охочимский Д. Е. Исследование движения в центральном поле сил под действием постоянного касательного ускорения // Космич. исслед. — 1964. — **2**, № 6. — С. 817—842.
5. Пироженко А. В. К построению новых форм уравнений возмущенного кеплерова движения // Космічна наука і технологія. — 1999. — **5**, № 2/3. — С. 103—107.
6. Прикладная небесная механика и управление движением: Сб. ст., посвящ. 90-летию со дня рождения Д. Е. Охочимского / Составители: Т. М. Энеев, М. Ю. Овчинников, А. Р. Голиков. — М.: ИПМ им. М. В. Келдыша, 2010 — 368 с.
7. Alpatov A. P., Beletsky V. V., Dranovskii V. I., et al. Dynamics of Tethered Space System. — Taylor & Francis Group, 2010. — 223 p.

Стаття надійшла до редакції 13.06.16

REFERENCES

1. Beleckij V. V. Oчерki po mehanike kosmicheskogo poleta, 432 p. (Izd-vo LKI, Moscow, 2009).
2. Bombardelli K., Alpatov A. P., Pirozhenko A. V. i dr. Proekt «Kosmicheskogo pastuha» s ionnym luchom. Idei i zadachi. *Kosm. nauka tehnol.*, **20** (2), 55 — 60 (2014).
3. Evtushenko Ju. G. Vlijanie kasatel'nogo uskorenija na dvizhenie sputnika. *Prikl. mat. i meh.*, **30** (3), 317—323 (1966).
4. Ohocimskij D. E. Issledovanie dvizhenija v central'nom pole sil pod dejstviem postojannogo kasatel'nogo uskorenija. *Kosmich. issled.*, **2** (6), 817—842 (1964).
5. Pirozhenko A. V. K postroeniju novyh form uravnenij vozmushhennogo keplerova dvizhenija. *Kosm. nauka tehnol.*, **5** (2/3), 103—107 (1999).
6. *Prikladnaja nebesnaja mehanika i upravlenie dvizheniem: Sb. st., posvjashh. 90-letiju so dnja rozhdenija D. E. Ohocimskogo / Sostaviteli: T. M. Jeneev, M. Ju. Ovchinnikov, A. R. Golikov*, 368 p. (IPM im. M. V. Keldysha, Moscow, 2010).
7. Alpatov A. P., Beletsky V. V., Dranovskii V. I., et al. Dynamics of Tethered Space System, 223 p. (Taylor & Francis Group, 2010).

A. I. Maslova, O. B. Pirozhenko

Інститут технічної механіки
Національної академії наук України
і Державного космічного агентства України, Дніпро

ЗМІНА ОРБИТИ ПІД ДІЄЮ МАЛОГО ПОСТІЙНОГО ГАЛЬМУВАННЯ

Розглянуто задачу гальмування супутника на низькій майже коловій орбіті постійним трансверсальним прискоренням. Запропоновано використання нових змінних, що описують рух і враховують особливість руху по майже колових орбітах. Проаналізовано основні закономірності руху і отримано кінцеві аналітичні вирази, що дозволяють з високою точністю описувати зміни параметрів орбіти.

Ключові слова: космічне сміття, відведення об'єктів з орбіти, мале гальмівне прискорення, зміна орбіти.

A. I. Maslova, A.V. Pirozhenko

Institute of Technical Mechanics
of the National Academy of Science of Ukraine
and the National Space Agency of Ukraine, Dnipro

ORBIT CHANGES UNDER THE SMALL CONSTANT DECELERATION

This paper considers the problem of braking a satellite on a low nearly circular orbit via constant transversal acceleration. We propose to use a new set of variables, describing the motion and taking into account features of the motion on a nearly circular orbit. We analyzed the main regularities of motion and received the final analytical expressions, allowing to describe the changes of the orbital parameters with a high accuracy.

Key words: space debris, deorbit of objects, small braking acceleration, orbit changes.

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2016.06.026>

УДК 004.9

В. Н. Маслей¹, Д. К. Мозговой², К. Г. Белоусов¹, В. С. Хорошилов¹, А. С. Бушанская², Н. Г. Галич¹

¹ Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля», Днепро

² Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ДОБЫЧИ ЯНТАРЯ ПО МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫМ СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

Приведены результаты обработки и анализа многоспектральных спутниковых снимков среднего пространственного разрешения с целью оценки динамики и последствий незаконной добычи янтаря в Украине. В ходе исследований выявлены существенные повреждения почвенного покрова на территории лесных массивов и полей в результате интенсивной многолетней добычи янтаря на выбранной территории мониторинга.

Ключевые слова: экологический мониторинг, добыча янтаря, спутниковые снимки, обработка изображений, преобразование главных компонентов, повреждения почвы.

Введение. Янтарь в Украине залегает на небольшой глубине, при этом доля камней ювелирного качества составляет 25 %, тогда как в Польше и России — 10...15 % [2]. В Волынской, Житомирской и Ровенской областях налажена незаконная добыча янтаря, из-за которой наносится непоправимый вред природе. Например, в Олевском районе Житомирской области вследствие незаконной добычи янтаря пострадали сотни гектаров земли и лесов (примеры пострадавших территорий приведены на рис. 1 и 2).

Для обширных лесных территорий, пострадавших от незаконной добычи янтаря, наиболее эффективным является мониторинг с использованием спутников ДЗЗ среднего и высокого пространственного разрешения [1, 12]. Современные спутники ДЗЗ позволяют получать оперативную и достоверную информацию о состоянии наземных объектов, рассредоточенных на больших территориях, в том числе в труднодо-

ступных местах, что весьма трудоемко и дорого при наземных обследованиях [3].

Постановка проблемы. Вопросам спутникового мониторинга незаконной добычи янтаря в Украине в последние годы уделяется достаточно много внимания [7—11], что обусловлено огромными масштабами и тяжелыми экологическими последствиями такой деятельности. Несмотря на актуальность данной тематики и достаточно подробное описание методов наземных и дистанционных исследований, их практическое применение весьма ограничено, особенно на региональном и локальном уровнях. Одним из основных сдерживающих факторов здесь, по-видимому, является высокая стоимость требуемого программно-технического и информационного обеспечения. Приведенные в большинстве публикаций методики предполагают использование дорогостоящего программного обеспечения и измерительного оборудования, а также закупки спутниковых снимков высокого пространственного разрешения, стоимость которых может составлять десятки тысяч долларов,

© В. Н. МАСЛЕЙ, Д. К. МОЗГОВОЙ, К. Г. БЕЛОУСОВ,
В. С. ХОРОШИЛОВ, А. С. БУШАНСКАЯ, Н. Г. ГАЛИЧ, 2016



Рис. 1. Последствия незаконной добычи янтаря в Олевском районе Житомирской области (ур. Мирское)



Рис. 2. Последствия незаконной добычи янтаря в Олевском районе Житомирской области (ур. Угольца)

что для большинства потенциальных пользователей неприемлемо. Поэтому остается актуальной задача разработки методики спутникового мониторинга последствий незаконной добычи янтаря, доступной массовым пользователям и ориентированной на использование бесплатного программного обеспечения и спутниковых снимков, доступных в интернете.

Цель исследований — разработка методики спутникового мониторинга последствий незаконной добычи янтаря с использованием спутниковых снимков, доступных в интернете. Основные задачи спутникового мониторинга:

- обнаружение территорий незаконной добычи янтаря, определение границ и площадей пострадавших территорий;

- выявление нарушений правил легальной добычи янтаря (нарушение границ разработок и невыполнение мероприятий по восстановлению почвенного покрова на территории добычи);

- анализ последствий незаконной добычи янтаря, мониторинг динамики и характера изменений почвы, растительности и водоемов на пострадавших участках.

Исходные данные для исследований. Территория наблюдений: Олевский район Житомирской области и Владимирецкий район Ровенской области.

Основные требования к спутниковым снимкам, используемым для мониторинга последствий незаконной добычи янтаря:

- снимки должны быть получены в один и тот же сезон;

- съемка должна быть произведена однотипными съемочными системами (автоматизированное сравнение снимков наиболее достоверно при условии соответствия спектральных диапазонов используемых съемочных систем);

- снимки должны быть одинакового или близкого разрешения, иначе снимки будут содержать различную информацию об объектах.

Для обзорного спутникового мониторинга последствий незаконной добычи янтаря возможно использовать доступные снимки среднего разрешения со спутников «Ландсат-7», «Ландсат-8» [4, 5], Terra (прибор ASTER), Sentinel-2, а также архивные данные со спутников SPOT-1,

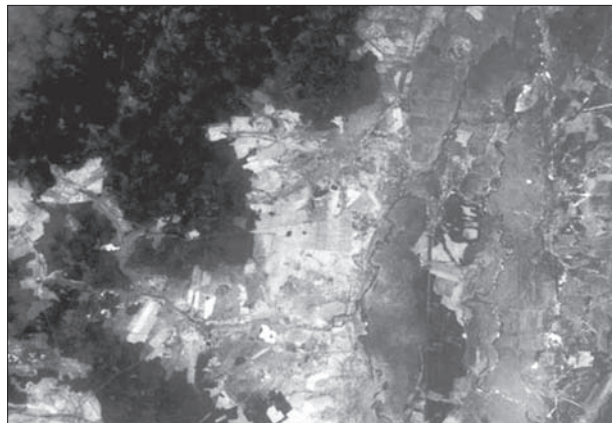


Рис. 3. Снимок заданного района со спутника «Ландсат-7» (2002 г.)

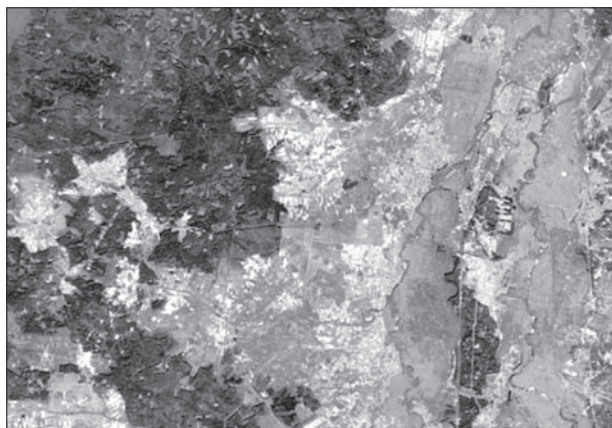


Рис. 4. Снимок заданного района со спутника «Ландсат-8» (2015 г.)

ЕО-1, «Січ-2». Для детального мониторинга возможно использовать снимки со спутников субметрового разрешения, а также данные аэрофотосъемки.

Методика исследований. Спутниковый мониторинг последствий незаконной добычи янтаря для выбранного участка наблюдений проводился в два этапа:

- обзорный мониторинг по снимкам среднего пространственного разрешения;

- детальный мониторинг по снимкам высокого пространственного разрешения.

В данной работе для обзорного мониторинга были использованы мультиспектральные сним-

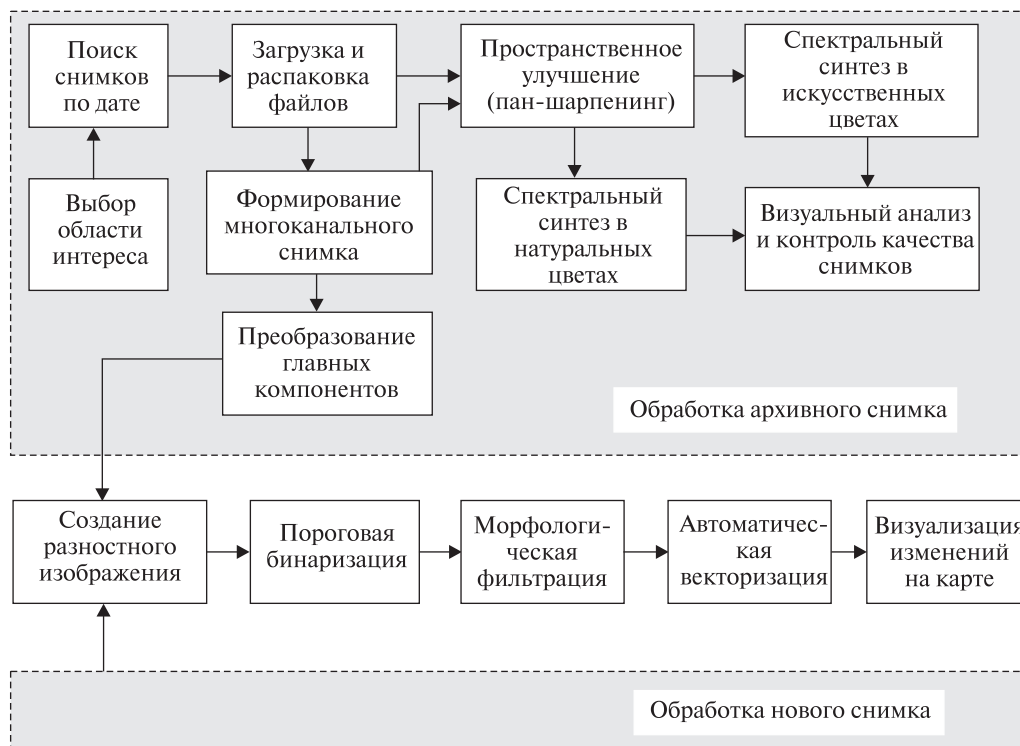


Рис. 5. Основные этапы автоматизированной обработки снимков среднего пространственного разрешения (обзорный мониторинг)

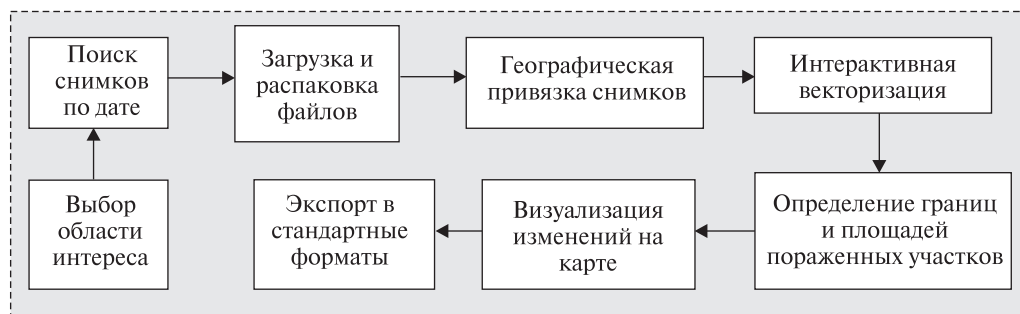


Рис. 6. Основные этапы интерактивной обработки снимков высокого пространственного разрешения (детальный мониторинг)

ки заданных участков со спутников «Ландсат-7» (съёмочный прибор ETM+) за 2002 г. (рис. 3) и «Ландсат-8» (съёмочный прибор OLI) за 2015 г. (рис. 4).

Для обработки спутниковых снимков можно использовать различные бесплатные программные пакеты (например QGIS, SNAP, GRASS, Orfeo toolbox, ScanMagic и др.), которые в насто-

ящее время разработаны под наиболее распространенные современные операционные системы Windows и Unix (включая Linux и MacOS).

Для детального мониторинга были использованы снимки субметрового разрешения с сайта bestmaps.ru, использующего данные геоинформационных веб-сервисов OSM, Google, Bing, Here, Yandex и др. (см. рис. 1 и 2).

Основные этапы автоматизированной обработки снимков среднего пространственного разрешения (рис. 5):

- подготовительные операции (выбор области интереса, поиск снимка по дате, загрузка и распаковка файлов, формирование многоканального снимка);

- спектральный синтез в натуральных цветах и в искусственных цветах с использованием каналов инфракрасного диапазона и контроль качества снимка;

- понижение размерности многоспектральных данных с помощью преобразования главных компонент;

- создание разностного изображения для первых главных компонент двух разновременных снимков заданной территории;

- пороговая бинаризация разностного изображения;

- морфологическая фильтрация бинарного изображения;

- автоматическая векторизация отфильтрованного изображения;

- визуализация изменений на карте и предварительная оценка изменений.

Преобразование главных компонент (РСА — Principal Component Analysis) достаточно широко используется при обработке данных ДЗЗ и позволяет аппроксимировать многоканальные снимки изображениями с меньшим количеством каналов (в данном случае одноканальным).

Основные этапы интерактивной обработки снимков высокого пространственного разрешения (рис. 6):

- выбор области интереса с учетом результатов обзорного мониторинга;

- поиск снимков, загрузка и склейка тайлов;

- географическая привязка снимков;

- интерактивная векторизация территорий незаконной добычи янтаря;

- определение границ и площадей пораженных участков;

- визуализация изменений на карте и экспорт в стандартные форматы.

Результаты исследований. На рис. 7 показаны результаты обнаружения изменений на территории Владимирецкого района Ровенской области



Рис. 7. Обнаружение изменений на территории мониторинга по снимкам со спутников «Ландсат-7» и «Ландсат-8» (Владимирецкий район Ровенской области, участок № 1): а — фрагмент снимка заданного района со спутника «Ландсат-7» (первый главный компонент), б — фрагмент снимка заданного района со спутника «Ландсат-8» (первый главный компонент), в — выявленные изменения (выделены места возможных последствий незаконной добычи янтаря)

по снимкам со спутников «Ландсат-7» и «Ландсат-8» (участок № 1).

На рис. 8 показаны результаты обнаружения изменений на территории Владимирецкого района Ровенской области по снимкам со спутников «Ландсат-7» и «Ландсат-8» (участок № 2).

По данным спутников только на территориях мониторинга площадь участков, пострадавших

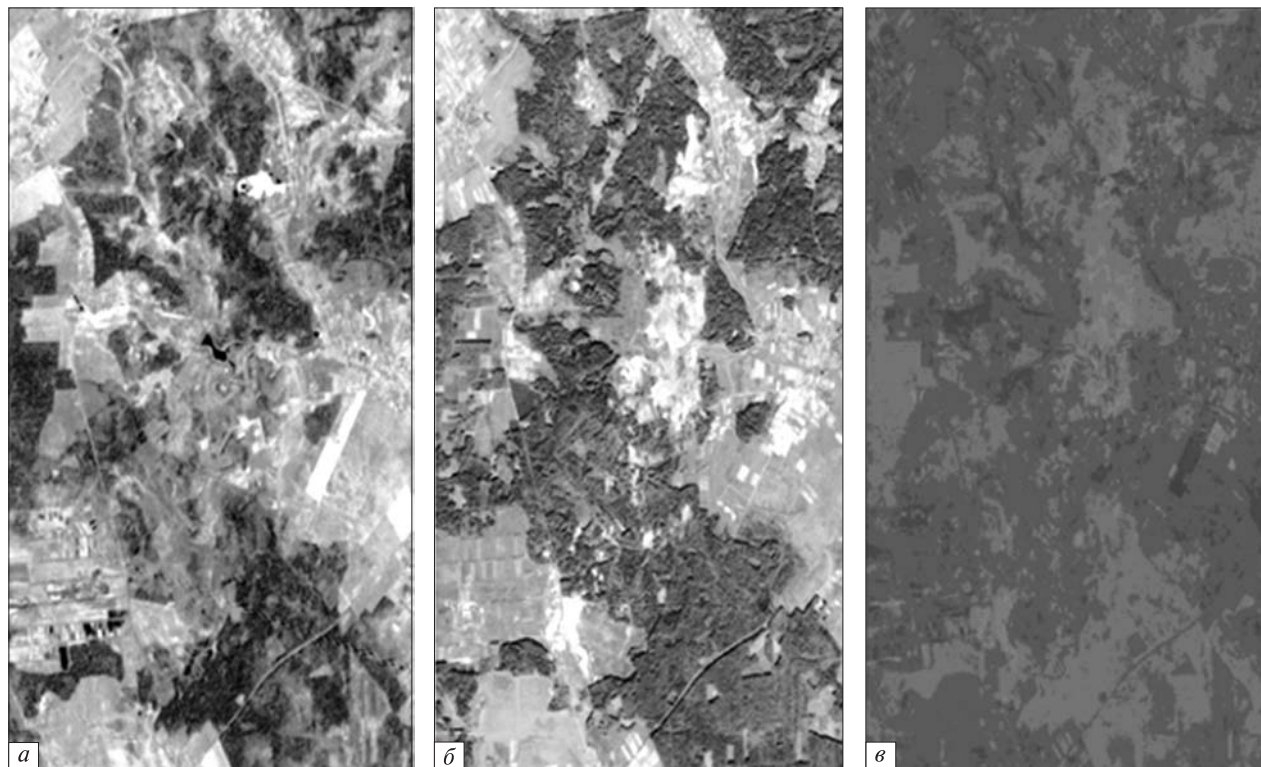


Рис. 8. Обнаружение изменений на территории мониторинга по снимкам со спутников «Ландсат-7» и «Ландсат-8» (Владимирский район Ровенской области, участок № 2): *а* — фрагмент снимка заданного района со спутника «Ландсат-7» (первый главный компонент), *б* — фрагмент снимка заданного района со спутника «Ландсат-8» (первый главный компонент), *в* — выявленные изменения (цветом выделены места возможных последствий незаконной добычи янтаря)

от незаконной добычи янтаря, составила более 500 га.

Поскольку у авторов не было возможности проводить наземную заверку с выездом на все обнаруженные участки незаконной добычи янтаря ввиду их рассредоточенности на большой территории, то оценка достоверности полученных результатов была проведена косвенными методами:

- для наиболее крупных участков временных изменений, обнаруженных по данным со спутников «Ландсат-7» и «Ландсат-8», был выполнен сравнительный анализ временных изменений с использованием бесплатных снимков, сделанных в тот же период с других спутников среднего разрешения (Terra /ASTER и Sentinel-2), доступных в интернете;

- для участков возможных последствий незаконной добычи янтаря, обнаруженных по дан-

ным со спутников «Ландсат-7» и «Ландсат-8», был выполнен визуальный анализ спутниковых снимков субметрового разрешения (рис. 9), доступных на различных геоинформационных веб-сервисах (Google, Bing, Here, Yandex и др.);

- для участков добычи янтаря, подтвержденных по данным субметрового разрешения, были определены границы этих участков и выполнены измерения их площадей с использованием бесплатных геоинформационных приложений Google Earth и SAS Planet (рис. 10);

- были проанализированы многочисленные фото- и видеоматериалы последствий незаконной добычи янтаря на территории Ровенской и Житомирской областей, представленные в периодической печати, в научных изданиях и в интернет-публикациях по данной тематике.

Результаты данного анализа подтвердили достаточно высокую достоверность автоматичес-

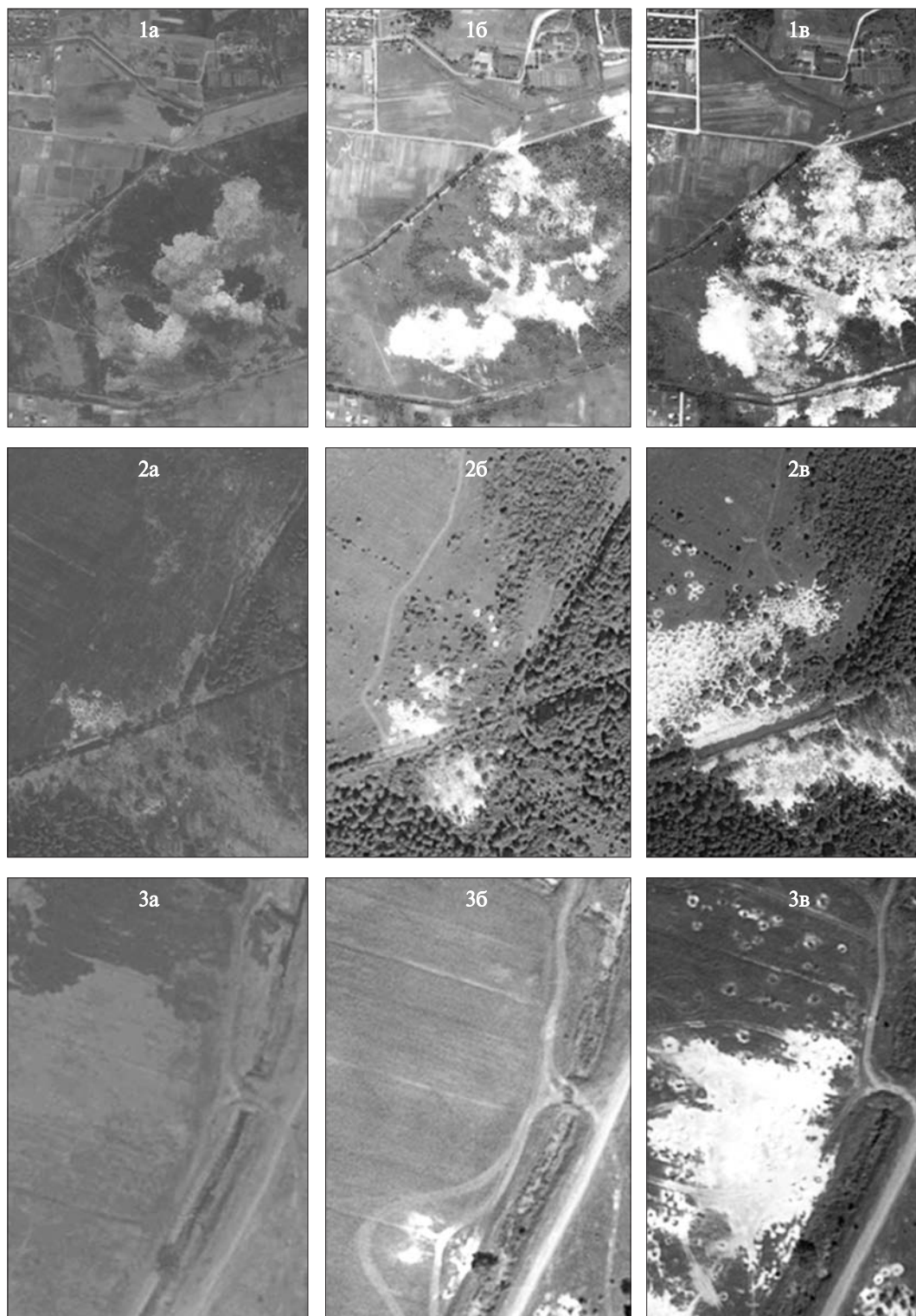


Рис. 9. Анализ динамики незаконной добычи янтаря на трех участках с использованием веб-сервиса bestmaps.ru (Владимирецкий район Ровенской области)

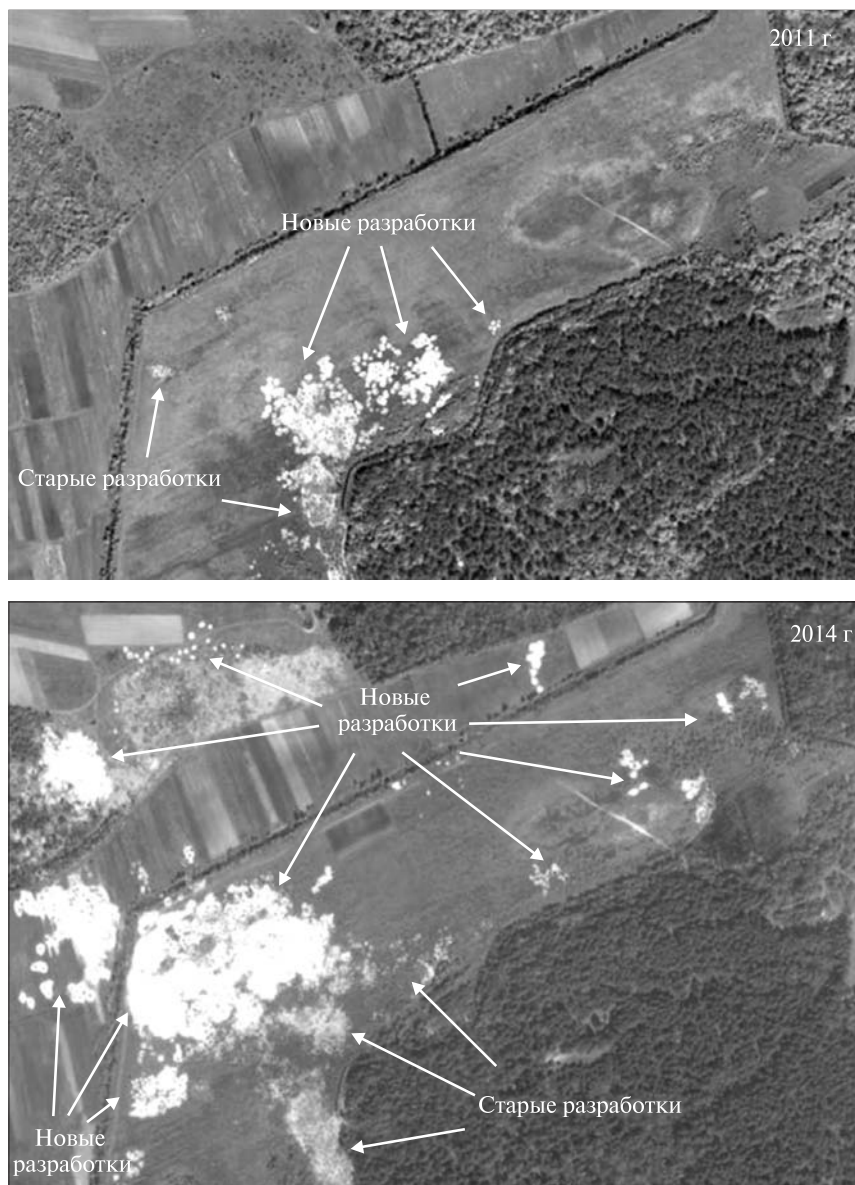


Рис. 10. Детальный анализ последствий незаконной добычи янтаря с использованием геоинформационного приложения SAS Planet

кого определения изменений на земной поверхности по разновременным спутниковым снимкам с использованием РСА, так как основная часть выявленных изменений возникла в результате незаконной добычи янтаря.

Выводы. Предложена методика спутникового мониторинга последствий добычи янтаря с использованием данных ДЗЗ, находящихся в свободном доступе в интернете. По результатам

автоматизированного анализа разновременных спутниковых снимков среднего пространственного разрешения были выявлены значительные территории, пострадавшие от незаконной добычи янтаря. По результатам визуального анализа спутниковых снимков высокого пространственного разрешения были выявлены локальные последствия незаконной добычи янтаря:

— изменения почвенного покрова (участки, на которых поверхностный слой почвы засыпается песком и глиной);

— уничтожение растительности (вырубка леса на участках добычи, истребление травяного покрова);

— изменение режима природных водоемов (выявлены многочисленные искусственные каналы, в которые подается вода из ближайших рек и озер).

До прохождения этапов валидации, аттестации и сертификации данная методика может эксплуатироваться широким кругом пользователей в тестовом режиме.

Предложенная методика позволяет:

— выполнять количественную оценку последствий незаконной добычи янтаря на больших территориях по спутниковым снимкам среднего разрешения («Ландсат-8», Sentinel-2 и др.);

— автоматизировано обнаруживать места массовой добычи янтаря путем комплексного анализа изменений почвенного покрова, растительности и водоемов по спутниковым снимкам среднего разрешения;

— выявлять новые места незаконной добычи янтаря по спутниковым снимкам субметрового разрешения.

Достоинства данной методики:

— возможность использования бесплатных спутниковых снимков, доступных в интернете;

— возможность использования бесплатного программного обеспечения для обработки спутниковых снимков;

— минимальные требования к квалификации оператора (вполне достаточный уровень обычного пользователя ПК);

— возможность реализации данной методики в виде геоинформационного веб-сервиса поиска и обработки данных ДЗЗ с визуализацией результатов на карте [6].

При успешном прохождении этапов валидации, аттестации и сертификации данная методика может быть реализована в виде ведомственного веб-сервиса и использована как государственными службами, так и отдельными пользователями.

1. Макаров А. Л., Мозговой Д. К., Хорошилов В. С. и др. Решение научно-прикладных задач с использованием снимков MODIS и ASTER // Космич. техника. Ракетное вооружение. — 2014. — Вып. 2. — С. 70—76.
2. Михайлова Т. Хроники Амбера: обзор российского рынка янтаря и изделий из него // Навигатор ювелирной торговли. — 2009. — № 5. — С. 14—18.
3. Мозговой Д. К. Обработка спутниковых снимков при решении прикладных задач // Междунар. науч.-практ. форум «Наука и бизнес»: Тез. докл. — Днепрпетровск, 2015. — С. 191—194.
4. Мозговой Д. К., Васильев В. В. Анализ многолетней засухи по данным Landsat-8 // Вісник ДНУ. Ракетно-космічна техніка. — 2016. — Вип. 13, 24, № 4. — С. 79—89.
5. Мозговой Д. К., Васильев В. В. Контроль природных и антропогенных процессов с помощью веб-сервиса Landsat viewer // Междунар. науч.-практ. форум «Наука и бизнес». — Днепр, 2016. — С. 62—67.
6. Мозговой Д. К., Чорненко М. В. Геоинформационные веб-сервисы онлайн обработки спутниковых снимков // Вісник ДНУ. Ракетно-космічна техніка. — 2016. — Вип. 13, 24, № 4. — С. 89—95.
7. Савченко Е. В., Мозговой Д. К. Анализ последствий незаконной добычи янтаря в Украине // XVIII Міжнар. молодіжна наук.-практ. конф. «Людина і Космос»: 36. тез. — Дніпро, 2016. — С. 361.
8. Філіпович В. Є. Оперативний контроль поширення нелегального видобутку бурштину та оцінка збитків заподіяних державі за матеріалами багатозональної космічної зйомки // Екологічна безпека та природокористування. — 2015. — Вип. 20 (4). — С. 71—78.
9. Філіпович В. Є. Супутниковий моніторинг територій незаконного видобутку бурштину [Електронний ресурс] // Укр. журн. дистанційного зондування Землі. — 2015. — 6. — С. 4—7. — Режим доступу: <http://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/52/70>.
10. Філіпович В. Є., Крилова Г. Б., Лубський М. С. Методика пошуку та локалізації ділянок незаконного видобутку бурштину за матеріалами багатозональної космічної зйомки // 14 Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях»: 36. наук. пр. — 2015. — С. 189—198.
11. Філіпович В. Є., Шевчук Р. М. Модернізація методики і технології оцінки шкоди нанесеної державі внаслідок нелегального видобутку бурштину на основі космічного моніторингу земельних ресурсів (на прикладі Олевського району Житомирської області) // Матер. 15 Міжнар. наук.-практ. конф. «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (Київ, Пуща-Водиця, 3—6 жовтня 2016 р.)

/ За ред. С. О. Довгого. — Київ: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2016. — С. 85—87.

12. Hnatushenko V. V., Hnatushenko V. V., Mozgovoy D. K., Vasiliev V. V. Satellite technology of the forest fires effects monitoring // Sci. Bull. Nat. Mining Univ. — 2016. — N 1. — <http://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/viewdownload/59/8445>.

Стаття надійшла до редакції 25.08.16

REFERENCES

1. Makarov A. L., Mozgovoy D. K., Khoroshilov V. S. i dr. Resheniye nauchno-prikladnykh zadach s ispol'zovaniyem snimkov MODIS i ASTER. *Kosmich. tekhnika. Raketnoye vooruzheniye*, No. 2, .70—76 (2014).
2. Mikhaylova T. Khroniki Ambra: obzor rossiyskogo rynka yantarya i izdeliy iz nego. *Navigator yuvelirnoy trgovli*, No. 5, 14—18 (2009).
3. Mozgovoy D. K. Obrabotka sputnikovyykh snimkov pri reshenii prikladnykh zadach. *Mezhdunar. nauch.-prakt. forum «Nauka i biznes»: Tez. dokl.*, 191—194 (Dnepropetrovsk, 2015).
4. Mozgovoy D. K., Vasil'yev V. V. Analiz mnogoletney zasukhi po dannym Landsat-8. *Visnik DNU. Raketno-kosmichna tekhnika*, 13, 24 (4), 79—89 (2016).
5. Mozgovoy D. K., Vasil'yev V. V. Kontrol' prirodnykh i antropogennykh protsessov s pomoshch'yu veb-servisa Landsat zritel'ya. *Mezhdunar. nauch.-prakt. forum «Nauka i biznes»*, 62—67 (Dnepro, 2016).
6. Mozgovoy D. K., Chornenko M. V. Geoinformatsionnyye veb-servisy onlayn obrabotki sputnikovyykh snimkov. *Visnik DNU. Raketno-kosmichna tekhnika*, 13, 24 (4), 89—95 (2016).
7. Savchenko Ye. V., Mozgovoy D. K. Analiz posledstviy nezakonnoy dobychi yantarya v Ukraine. *XVIII Mizhnar. molodizhna nauk.-prakt. konf. «Lyudina i Kosmos»: Zb. tez.*, 361 (Dnipro, 2016).
8. Filipovich V. Ê. Operativniy kontrol' poshirennya nelegal'nogo vidobutku burshtinu ta otsinka zbitkiv zapodiyanikh derzhavi za materialami bagatozonal'noi kosmichnoi z'yomki. *Yekologichna bezpeka ta prirodoznavannya*, 20 (4), 71—78 (2015).
9. Filipovich V. Ê. Suputnikoviy monitoring teritoriy nezakonno vidobutku burshtinu [yelektronniy] // resurs Ukr. zhurn. distantsiyogo zonduvannya Zemli. — 2015. — 6. — S. 4—7 — Rezhim dostupu: <http://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/52/70>.
10. Filipovich V. Ê., Krilova G. B., Lubs'kiy M. S. Metodika poshuku ta lokalizatsii dilyanok nezakonno vidobutku burshtinu za materialami bagatozonal'noi kosmichnoi z'yomki // 14 Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Suchasni informatsiyni tekhnologii upravlinnya yekologichnoyu bezpekoyu, prirodoznavannya, zakhodami v nadzvichaynikh situatsiyakh»: *Zb. nauk. pr.*, 189—198 (Kyiv, 2015).
11. Filipovich V. Ê., Shevchuk R. M. Modernizatsiya metodiki i tekhnologii otsinki shkodi nanesenoi derzhavi vnaslidok

nelegal'nogo vidobutku burshtinu na osnovi kosmichnogo monitoringu zemel'nikh resursiv (na prikladi Olevs'kogo rayonu Zhitomir'skoi oblasti). *Mater. 15 Mizhnar. nauk.-prakt. konf. «Suchasni informatsiyni tekhnologii upravlinnya yekologichnoyu bezpekoyu, prirodoznavannya, zakhodami v nadzvichaynikh situatsiyakh»* / Za red. S. O. Dovgogo, 85—87 (TOV «Vidavnitstvo «Yuston», Kyiv, 2016).

12. Hnatushenko V. V., Hnatushenko V. V., Mozgovoy D. K., Vasiliev V. V. Satellite technology of the forest fires effects monitoring. *Sci. Bull. Nat. Mining Univ.*, No. 1 (2016). <http://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/viewdownload/59/8445>.

В. М. Маслей¹, Д. К. Мозговий², К. Г. Білоусов¹,
В. С. Хорошилов¹, О. С. Бушанська², М. Г. Галич¹

¹ Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля», Дніпро

² Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара

МЕТОДИКА ОЦІНКИ НАСЛІДКІВ ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ ЗА БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИМИ СУПУТНИКОВИМИ ЗНІМКАМИ

Наведено результати обробки та аналізу багатоспектральних супутникових знімків середнього розрізнення з метою оцінки динаміки і наслідків незаконного видобутку бурштину в Україні. В ході досліджень виявлено суттєві пошкодження ґрунту на території лісових масивів і полів в результаті інтенсивного багаторічного видобутку бурштину на обраній території моніторингу.

Ключові слова: екологічний моніторинг, видобуток бурштину, супутникові знімки, обробка зображень, перетворення головних компонентів, пошкодження ґрунту.

V. M. Masley¹, D. K. Mozgovoy², K. G. Bilousov¹,
V. S. Horoshilov¹, O. S. Bushanska², N. G. Galich¹

¹ Yangel Yuzhnoye State Design Office, Dnipro

² Oles Honchar Dnipropetrovsk National University

METHODS OF THE IMPACT EVALUATION OF AMBER MINING BY MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES

We present the results of processing and analysis of middle-resolution multispectral satellite images to assess the dynamics and consequences of illegal amber extraction in Ukraine. The study has revealed a significant damage to the soil cover on the territory of forests and fields as a result of a long-term intense amber mining on the selected monitoring site.

Keywords: environmental monitoring, amber mining, satellite images, image processing, principal component analysis, soil damage.

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2016.06.037>

УДК 347.85

Н. Р. Малишева, А. М. Гурова

Інститут держави і права ім. В. М. Корецького
Національної академії наук України, Київ

НОВАЦІЇ В ДОЗВІЛЬНОМУ ПОРЯДКУ ЗДІЙСНЕННЯ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ: ОБ'ЄКТИВНА НЕОБХІДНІСТЬ ЧИ ДАНИНА ЧАСУ?

Аналізуються зміни, що відбулися в останні роки у космічній галузі України у зв'язку із взятим державою курсом на дерегуляцію господарської діяльності. Зокрема, критично оцінюється скасування ліцензування в космічній сфері як таке, що прямо суперечить міжнародному космічному праву, йде врозріз зі світовою, зокрема європейською практикою, а також не відповідає специфіці космічної діяльності.

Ключові слова: космічна діяльність, дерегуляція, ліцензування, міжнародне космічне право, національне космічне законодавство.

ВСТУП

В останні роки в Україні набирає оберти процес дерегуляції господарської діяльності, основною метою якої є спрощення регуляторної бази через зменшення кількості документів дозвільного характеру, дозвільно-погоджувальних процедур, переліку видів господарської діяльності, що підлягають ліцензуванню; забезпечення істотного поліпшення умов ведення бізнесу в Україні; відмова від системи тотального обтяжливого контролю за всіма суб'єктами господарської діяльності тощо. Ці конче потрібні суспільству зміни, однак, не мають перетворюватись на чергову кампанію. Дуже важливо, щоб відповідний процес був вдумливим і виваженим, враховував би особливості кожної сфери діяльності, до якої він застосовується. Реалізації цих керівних настанов має в першу чергу сприяти законодавство України, зокрема Закон України

від 02.03.2015 р. «Про ліцензування видів господарської діяльності» [3], що набрав чинності 28 червня 2015 р., скасувавши Закон України «Про ліцензування певних видів господарської діяльності» від 01 червня 2000 р., який до того часу діяв. Згідно з новим Законом Державне космічне агентство України — центральний орган виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері космічної діяльності, — втратило повноваження з ліцензування всіх видів космічної діяльності, а саме: з розроблення, випробування, виробництва, експлуатації ракет-носіїв, космічних апаратів та їхніх складових частин, наземного комплексу управління космічними апаратами та його складовими частинами.

Вважаємо таке законодавче рішення неоправданим і таким, що не відповідає державним інтересам, міжнародним зобов'язанням України, зарубіжній, зокрема європейській практиці, зрештою — специфіці космічної галузі. І ось чому.

© Н. Р. МАЛИШЕВА, А. М. ГУРОВА, 2016

ОСОБЛИВИ УМОВИ ВЕДЕННЯ БІЗНЕСУ В КОСМІЧНІЙ СФЕРІ

Ведення бізнесу в кожній сфері господарювання, крім загальних умов, передбачених законодавством України, має підкорятись і специфічним вимогам, пов'язаним з особливостями предметної сфери. Космічній галузі, зокрема, характерні такі властивості:

1) *високотехнологічність, наукоємність, інноваційність*: космічною промисловістю створюються унікальні об'єкти, які за своїми експлуатаційними характеристиками не мають аналогів у світі або відповідають кращому світовому рівню аналогової техніки;

2) *ключова роль держави у забезпеченні космічної діяльності та відповідальності за її наслідки*: держава в особі своїх органів виконує організаційно-фінансові функції та виступає як єдиний суб'єкт, що здійснює організацію виробництва та експлуатації ракет-носіїв, у тому числі їхніх космічних запусків із будь-якою метою;

3) *висока ризикованість* завдання шкоди життю та здоров'ю людей, довкіллю та цінному космічному устаткуванню. А принцип пріоритетності державного захисту життя та здоров'я людини, навколишнього природного середовища, захисту обмежених ресурсів та забезпечення безпеки держави шляхом ліцензування закріплені у п. 4 ч. 1 ст. 3 Закону України «Про ліцензування видів господарської діяльності»;

4) *мета космічної діяльності спрямована на забезпечення інтересів держави у сфері національної безпеки та оборони, а також суспільства* (телекомунікації, супутникова навігація, метеорологія, управління природними ресурсами, попередження техногенних та природних катастроф тощо).

Специфіка кожної сфери господарювання стимулює державу до встановлення відповідного правового режиму, який втілюється в регуляторних, в разі потреби — у дозвоільних механізмах.

Доктриною адміністративного права розроблено певні критерії, відповідність яким вимагає ліцензування господарської діяльності з боку держави. Це зокрема: її соціально-економічна роль та широке коло контингенту обслуговування; забезпечення економічної безпеки держави;

підтримка інтелектуального потенціалу; наявність державного інтересу; необхідність спеціальних знань; небезпека завдання шкоди життю та здоров'ю, навколишньому природному середовищу та деякі інші. Більшість із цих критеріїв знайшли своє відображення і в законодавстві [1, 4, 8].

Космічна галузь за своєю правовою природою відповідає всім вищезначеним науковим критеріям, що ставить її в ряд видів діяльності, які мають підлягати дозвоільно-ліцензійному порядку господарювання.

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ПРАВОВОГО РЕЖИМУ ЗДІЙСНЕННЯ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В УКРАЇНІ

Вважаємо, що правовий режим організації та здійснення космічної діяльності, який діяв до 2015 р.¹, в основному відповідав критеріям дерегуляції, передбаченим сучасними директивними державними документами з означених питань [1, 6].

По-перше, попередній і поточний державний нагляд і контроль здійснювався єдиним суб'єктом — Державним космічним агентством України (ДКА України), повноваження якого не дублювалось жодним іншим державним органом.

По-друге, дозвоільно-ліцензійна діяльність здійснювалася під наглядом Держпідприємництва, зокрема відповідно до ризикоорієнтованої системи державного контролю.

По-третє, ліцензування відповідало принципам державної регуляторної політики, визначеним ст. 4 Закону України «Про засади державної регуляторної політики у сфері господарської діяльності» [2], а саме: доцільності, адекватності, ефективності, збалансованості, передбачуваності та прозорості.

¹ Цей режим був передбачений Законом України «Про космічну діяльність» (абз. 7 частини першої ст. 5), Законом України «Про ліцензування певних видів господарської діяльності» (п. 18 частини 3 ст. 9), що втратив чинність; постановою Кабінету Міністрів України від 14.11. 2000 р. № 1698 «Про затвердження переліку органів ліцензування» в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 27.07.2011 р. № 798, що нині втратив чинність.

З цього випливає, що дозвільно-ліцензійний порядок космічної діяльності обумовлений її характером та не створює для відповідної діяльності жодних обтяжень.

РОЛЬ ДЕРЖАВИ У ПІДВИЩЕННІ ЕКОНОМІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

Відповідно до п. 6 Стратегії сталого розвитку «Україна-2020», схваленої Указом Президента України від 12.01.2015 № 5/2015 [7], цілями дерегуляції є створення сприятливого середовища для ведення бізнесу, залучення інвестицій, спрощення міжнародної торгівлі та підвищення ефективності ринку праці. При цьому серед індикаторів реалізації Стратегії вказано досягнення Україною місця серед перших 30 позицій у рейтингу Світового банку Doing Business.

Слід зазначити, що у сфері космічної діяльності вказані економічні цілі значною мірою забезпечувалися саме функціонуванням інституту ліцензування:

1) ліцензійні умови містили вимоги щодо кваліфікації та виробничих потужностей суб'єкта господарювання, виконання ним комплексу правил космічної діяльності, а тому сприяло підвищенню стандарту забезпечення виконання контрактів, який є одним із показників рейтингу Doing Business;

2) наявність ліцензії була підставою для отримання податкових пільг, що також поліпшувало інвестиційний клімат та підвищувало рейтинг Doing Business за відповідним показником;

3) державне визнання стимулювало кредитування ризикованої космічної діяльності, що також підвищувало рейтинг України за рахунок космічної сфери господарювання за цим показником;

4) серед підстав анулювання ліцензії знаходилось встановлення факту використання праці без оформлення трудових відносин з працівниками, що свідчить про підвищення в даній локальній сфері господарської діяльності критерію якості ринку праці в країні, що також відповідає критеріям оцінки економічних показників України в рейтингу Doing Business;

5) законодавством України традиційно був запроваджений обмежений за суб'єктом складом допуск до окремих видів космічної діяльності. Так, відповідно до ст. 4 Закону України «Про підприємництво»², виробництво та експлуатація ракет-носіїв могли здійснюватися лише державними підприємствами та організаціями. При цьому недержавні юридичні особи могли бути залучені до вказаної діяльності як співвиконавці державних контрактів за рекомендацією державних підприємств, але лише після отримання ліцензій. Інакше: ліцензування, з одного боку, відкривало шлях приватним інвестиціям до найприбутковіших видів космічної діяльності; по-друге, забезпечувало якість та відповідальний характер такої діяльності. Скасування інституту ліцензування призвело до того, що на недержавних юридичних осіб можуть тепер покладатися лише роботи щодо розроблення та випробування космічної техніки. Причому якість виконання таких робіт не гарантується з боку держави жодними контрольно-наглядовими заходами.

Конкурентноздатність на ринку космічних послуг досягається виконанням не тільки суто техніко-економічних, але й низки екологічних вимог. Відповідність екологічним критеріям на різних етапах запланованої космічної діяльності (проектування, розроблення, виробництва, експлуатації космічних апаратів, роботи наземного космічного комплексу тощо) була предметом державного нагляду, у першу чергу — на стадії ліцензування суб'єктів космічної діяльності. Крім того, сьогодні екологічні чинники космічної діяльності виходять на перший план у зв'язку із зростанням міжнародного занепокоєння проблемою техногенного засмічення космічного простору³. Забезпечення відповідності екологіч-

² Закон втратив чинність на підставі Закону України № 191-VIII від 12.02.2015 № 191-VIII // Відомості Верховної Ради України. — 2015. — № 21. — Ст. 133.

³ Див., зокрема, Керівні принципи щодо попередження утворення космічного сміття, прийняті Міжнародним координаційним комітетом з космічного сміття. — Inter-Agency Space Debris Coordination Committee Space Debris Mitigation Guidelines. — IADC 02-01 Revision 1. — September 2007 // [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.iadc-online.org/index.cgi?item=docs_pub; United Nations Office for Outer Space Affairs. Space De-

ним вимогам, зокрема вимогам мінімізації космічного сміття, потребує значних капіталовкладень. А за умов відсутності контролю чинники скорочення собівартості продукції стануть для недобросовісних підприємців потужними стимулами для нехтування вказаними вимогами. Це своєю чергою неодмінно призведе до зниження економічної та екологічної конкурентоздатності вітчизняних ракетних систем, вразливих з т. з. техногенного засмічення навколоземного космічного простору.

Таким чином, є пряма залежність між створенням сприятливого середовища для ведення бізнесу, залученням інвестицій, підвищенням світової конкурентоспроможності, спрощенням міжнародної торгівлі у космічній галузі господарювання та ліцензуванням космічної діяльності. Вважаємо, що скасування останнього призведе до наслідків, протилежних передбачуваним.

МІЖНАРОДНІ ЗОБОВ'ЯЗАННЯ УКРАЇНИ ЩОДО ЗДІЙСНЕННЯ ЮРИСДИКЦІЇ ТА НАГЛЯДУ В ГАЛУЗІ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

У світі на сьогодні кілька десятків держав вважаються космічними, тобто такими, які в тій чи іншій якості залучені до виконання міжнародних чи національних космічних проектів і програм. При цьому приблизно десять із них володіють повним технологічним циклом ракетно-космічної діяльності від наукових досліджень, дослідно-конструкторських розробок, виробництва, випробування, експлуатації ракетно-космічної

техніки аж до утилізації її решток, насамперед ракетного палива. В цю десятку потрапляє й Україна, яка має доволі розвинений і потужний космічний сегмент з наземною та космічною інфраструктурою. Наявність самостійної космічної індустрії — це престиж і міжнародне визнання нашої держави, оскільки одним із критеріїв, що визначають місце у світовому космічному рейтингу, є саме можливість самостійного здійснення відповідної діяльності. Водночас такий статус накладає на державу й чимало зобов'язань перед світовим співтовариством, що прямо передбачено міжнародним космічним правом.

Так, відповідно до ст. VI Договору ООН про принципи діяльності держав з дослідження та використання космічного простору, включаючи Місяць та інші небесні тіла (далі — Договір про космос), міжнародна відповідальність за всю національну діяльність у космічному просторі покладається на державу, на території або під юрисдикцією якої така діяльність здійснюється. При цьому не має значення, ким безпосередньо провадиться така діяльність: урядовими органами чи неурядовими юридичними особами. В Договорі про космос прямо зазначено, що діяльність неурядових юридичних осіб у космічному просторі має провадитись з дозволу і під постійним спостереженням відповідної держави. А Конвенцією про міжнародну відповідальність за шкоду, завдану космічними об'єктами, передбачено, що саме держава несе абсолютну відповідальність (тобто відповідальність, що не залежить від вини) за шкоду, заподіяну її космічним об'єктом на поверхні Землі або повітряному судну в польоті (ст. II Конвенції).

На виконання вказаних загальнообов'язкових норм, міжнародною спільнотою розроблено ряд рекомендаційних положень, закріплених резолюціями ГА ООН. До таких, зокрема, належать затверджені резолюцією ГА ООН 68/74 від 11.12.2013 «Рекомендації щодо національного законодавства, яке стосується дослідження і використання космічного простору в мирних цілях»⁴.

⁴ A/Res/68/74/ — Генеральна Ассамблея ООН. Резолюції 68-й сесії (2013—2014) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.un.org/ga/68/docs/68res1.shtml>.

bris Mitigation Guidelines of the Committee for the Peaceful Use of Outer Space. — UN. — Vienna, 2010. — 10 р.; стандарти Міжнародної організації з питань стандартизації: ISO 24113:2011 «Космічні системи. Вимоги з мінімізації космічного сміття». — ISO 24113-2011. Space systems — Space debris mitigation requirements // [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=57239; ISO/PRF TR 18146 «Космічні системи. Проектування та операційне керівництво для космічних апаратів, які функціонують в середовищі космічного сміття», ISO / TR 16158:2013 «Космічні системи — уникнення зіткнень з орбітальними об'єктами», ISO 16126:2014 «Системи космічні. Оцінка життєвості конструкції не пілотованого космічного апарату щодо космічного сміття та метеорних тіл для забезпечення успішного відділення після польоту» та деякі інші.

Відповідно до п. 2 резолюції, державам необхідно видавати дозволи та забезпечувати нагляд за космічною діяльністю, що проводиться як на їхніх територіях, так і за їхніми межами, але під юрисдикцією їхніх громадян чи установ, якщо тільки юрисдикцію щодо такої діяльності не здійснює інша держава. Космічна діяльність повинна проводитись із дозволу компетентного національного органу. Такий орган, а також умови видачі, зміни, призупинення дії, відкликання дозволів повинні бути чітко визначені у межах національного законодавства. Однак умови видачі дозвільних документів повинні відповідати міжнародним зобов'язанням за договорами ООН. Умови видачі таких документів повинні сприяти підтвердженню того, що космічна діяльність здійснюється безпечним чином і з обмеженням ризиків для людей, навколишнього середовища і майна, не створювати перешкод для проведення іншої діяльності в космосі.

Пряма вказівка на положення даної резолюції міститься у принципі 1 проекту Керівних принципів забезпечення довгострокової сталості космічної діяльності, що нині розробляється піз егідою Комітету ООН з космосу. Поряд з орієнтацією на створення сприятливих умов для суб'єктів космічної діяльності, ООН рекомендує враховувати міжнародну відповідальність держав за діяльність вказаних суб'єктів, ключову роль в якому відіграють ефективні національні механізми ліцензування.

Положення щодо виключної відповідальності держави за санкціонування всієї космічної діяльності та здійснення поточного контролю за нею передбачене також у Доповіді групи урядових експертів щодо заходів транспарентності і зміцнення довіри в космосі, представлений 29 липня 2013 р. на 68 сесії ГА ООН, а також в ряді інших міжнародних документів.

Таким чином, ліцензування космічної діяльності є не лише доцільним, а й необхідним правовим інститутом забезпечення виконання міжнародних зобов'язань України, нехтування яким може призвести до визнання невідповідності законодавства України нормам міжнародного права [5].

ЛІЦЕНЗУВАННЯ КОСМІЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЗА ЗАРУБІЖНИМ ЗАКОНОДАВСТВОМ

За даними Управління ООН з питань космосу, 43 держави-члени ООН із 191 мають на навколоземній орбіті космічні апарати, причому в 38 з них створені спеціалізовані органи управління космічною діяльністю, однією з основних функцій яких є ліцензування.

Космічна діяльність у межах ЄС значною мірою здійснюється Європейським космічним агентством (ЄКА). Механізми ліцензування космічної діяльності, встановлені ЄКА, стосуються переважно сфери захисту інтелектуальної власності. Ліцензування ж як діяльність щодо видачі суб'єктам космічної діяльності дозвільних документів, визначається національними законодавствами держав-членів ЄС, які входять до складу ЄКА.

Так, відповідно до ст. 2 Закону про космічні операції Французької Республіки (French Space Operation Act) від 22 травня 2008 р., будь-які оператори незалежно від національності, а також фізичні особи чи організації, чиї штаб-квартири функціонують у Франції, незалежно від того, чи є вони операторами, метою яких є запуск космічних об'єктів з території чи устаткування Франції або під її юрисдикцією, повинні отримати ліцензії. Ліцензії видаються міністерством, до відання якого належить космічна діяльність, після оцінки відповідності моральним, фінансовим та професійним вимогам.

Ліцензування космічної діяльності було запроваджено і Федеральним законом Австрії щодо ліцензування космічної діяльності та встановлення національного реєстру (Austrian Federal Law on the Authorisation of Space Activities and the Establishment of a National Registry) від 11 жовтня 2011 р. Згідно із параграфами 3, 4 цього закону, ліцензія на здійснення космічної діяльності видається міністром транспорту, інновацій і технологій за умов: 1) володіння оператором достатніми можливостями та досвідом; 2) безпечності космічної діяльності для людей, їхнього майна, громадського порядку, суспільного здоров'я; 3) відповідності космічної діяльності національній безпеці, зобов'язанням Австрії за міжнародним

правом та австрійським інтересам зовнішньої політики; 4) спроможності космічних операцій до забезпечення космічного простору та небесних тіл від засмічення та несприятливих змін; 5) відповідності діяльності вимогам Міжнародного союзу електрозв'язку щодо орбітальних позицій та привласнення частот; 6) обов'язкового страхування космічної діяльності, щодо якої проводиться процедура ліцензування.

Ліцензування космічної діяльності передбачено ч. 1 ст. 3 Закону Сполученого Королівства Великої Британії та Ірландії «Про космічний простір» від 18 липня 1986 р., а саме: «будь-яка особа, котра перебуває під юрисдикцією Великобританії та здійснює запуск і забезпечення запуску космічного об'єкта, керування космічним об'єктом, будь-яку діяльність в космічному просторі, незалежно від того, провадиться вона на території країни чи поза нею, не може займатися цією діяльністю без уповноваження її ліцензією, яка видається міністром».

Виключність ліцензування всієї космічної діяльності для всіх її суб'єктів передбачена Законом Швеції «Про космічну діяльність» (1982:963) (Act on space activities) та однойменним декретом: (1982:1096) (Decree on space activities). Всі ліцензії видаються урядом після детальної перевірки заявки Національною радою з космічної діяльності та консультацій з адміністрацією у справах телекомунікацій. Відповідна рада здійснює контроль за дотриманням ліцензійних умов.

Є практика видачі ліцензій відповідно до призначення космічного устаткування та реалізованих ним місій. Прикладом такої практики є положення ст. 3 ч. 2 Закону Федеративної Республіки Німеччини щодо забезпечення супутникових даних (Satellite Data Security Act — SatDSiG) від 23 листопада 2007 р., згідно з яким для проведення високошвидкісного дистанційного зондування Землі необхідно отримати ліцензію.

Показовою в цьому контексті є також практика США щодо ліцензування. Диверсифікація космічної діяльності в цій країні зумовила розподілення ліцензійних повноважень між трьома інституціями. Федеральна комунікаційна комісія (Federal Communications Commission — FCC) видає ліцензії та контролює експлуатацію теле-

комунікаційних супутників відповідно до Комунікаційного акту 1934 р.; Управління комерційних космічних перевезень (Office of Commercial Space Transportation — OCST) ліцензує комерційні запуски відповідно до Акту щодо комерційних запусків від 1984 р.; Національна океанічна та атмосферна адміністрація (National Oceanic and Atmospheric Administration — NOAA) ліцензує комерційні системи дистанційного зондування на підставі Акту про комерціалізацію дистанційного зондування Землі від 1984 року.

Таким чином, всі космічні держави використовують інститут ліцензування для виконання своїх міжнародних зобов'язань, забезпечення якості та конкурентоздатності власної космічної продукції, а також зменшення тягаря відповідальності за шкоду, яка, відповідно до норм міжнародного космічного права, може бути на них покладена, навіть якщо вона спричинена неурядовими суб'єктами космічної діяльності, що діють під їхньою юрисдикцією.

ВИСНОВКИ

1. Дерегуляція господарської діяльності є конче потрібним і назрілим напрямом реформ в умовах сучасних українських реалій. Вона здатна полегшити «ярмо» безпідставних дозвольно-контрольних процедур для бізнесу з боку різного роду державних інстанцій, покликана усунути паралелізм та дублювання функцій останніх, створити умови для вільного розвитку підприємництва відповідно до європейських вимог.

Водночас, як і всяке важливе починання, відповідний процес не повинен перетворитися на кампанію, яка без науково-аналітичного підґрунтя «змітає все на своєму шляху». У ході реалізації державного курсу на дерегуляцію важливо брати до уваги особливості сфер регулювання, суспільну та правову доцільність тих чи інших державно-правових перетворень, а також міжнародні зобов'язання України у відповідній сфері.

2. Космічна діяльність є однією із найбільш наукоємних та високотехнологічних галузей, в результаті функціонування якої розробляється, створюється, випробовується та експлуатується унікальна техніка, використовуються найкращі з наявних у світі технологій. Ця галузь тісно

пов'язана із забезпеченням обороноздатності та зовнішньоекономічних інтересів держави та суспільства. Водночас космічна діяльність є високо ризиковою, і за всіма показниками підпадає під критерії сфер господарської діяльності, що повинні ліцензуватися.

3. Ліцензування є важливим інструментом підвищення економічної та екологічної ефективності космічної діяльності. Наявність відповідного інституту сприяє підвищенню конкурентоспроможності ракетно-космічної продукції.

4. Дозвільно-ліцензійний характер космічної діяльності є прямою вимогою міжнародного космічного права, виконання якої є зобов'язанням України. Це насамперед пов'язане з міжнародною відповідальністю держави за всю космічну діяльність, що здійснюється будь-якими її суб'єктами. А відповідальність передбачає наявність важелів нагляду і контролю, чільне місце серед яких належить ліцензуванню.

5. Практично всі космічні держави, навіть ті, які не мають під своєю юрисдикцією повного циклу космічної діяльності, пішли шляхом створення спеціальних органів управління галуззю, до повноважень яких в першу чергу віднесено надання дозволів чи ліцензій на здійснення певних видів відповідної діяльності.

6. Політика дерегуляції підприємницької діяльності впроваджується в Україні під гаслом наближення до європейських норм і принципів, запровадження в країні європейської бізнес-моделі. А в усіх країнах ЄС держава тримає космічну діяльність під своїм постійним наглядом, у першу чергу через механізми ліцензування.

Таким чином, процес дерегуляції господарської діяльності може стосуватися космічної галузі лише в частині поліпшення процедур ліцензування, більш послідовного впровадження сучасних принципів державної політики у відповідній сфері, але ні в якому разі не мати своїм результатом скасування самого дозвільно-ліцензійного порядку відповідної діяльності, оскільки це прямо суперечить міжнародному праву, іде врозріз із світовою, зокрема європейською практикою, шкодить економічним і екологічним інтересам держави, не враховує специфіку космічної діяльності та її суб'єктний склад.

1. Бекірова Е. Правова природа інституту ліцензування певних видів господарської діяльності // Підприємництво, господарство і право. — 2007. — № 10. — С. 95.
2. Закон України «Про засади державної регуляторної політики у сфері господарської діяльності» // Відомості Верховної Ради України. — 2004. — № 9. — Ст. 79.
3. Закон України «Про ліцензування видів господарської діяльності» від 02.03.2015 р. // Відомості Верховної Ради України. — 2015. — № 23. — Ст. 158.
4. Ліцензування в Україні / За ред. А. В. Шашкевич: — К.: Юрінком Інтер, 2005. — 414 с.
5. Малишева Н. Р. Чи варто «дерегулювати» сферу космічної діяльності? // Публічне право. — 2016. — № 1. — С. 90—95.
6. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про затвердження плану заходів щодо дерегуляції господарської діяльності» від 18.03.2015 № 357-р // Урядовий кур'єр. — 2015. — 24 квітня. — № 75.
7. Указ Президента України «Про Стратегію сталого розвитку «Україна — 2020» від 12.01.2015 № 5/2015 // Офіційний вісник Президента України. — 2015. — № 2. — С. 14. — Ст. 154.
8. Щербина В. С. Господарське право України: Навч. посіб. — К.: Атіка, 1999. — 336 с.

Стаття надійшла до редакції 01.08.16

REFERENCES

1. Bekirova E. Pravova pryroda instytutu litsenzuvannia penvykh vydiv hospodars'koi diial'nosti. *Pidpriemnytstvo, hospodarstvo i pravo*, No. 10, 95 (2007).
2. Zakon Ukrainy «Pro zasady derzhavnoi rehuliatornoj polityky u sferi hospodars'koi diial'nosti». *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, No. 9, 79 (2004).
3. Zakon Ukrainy «Pro litsenzuvannia vydiv hospodars'koi diial'nosti» vid 02.03.2015 r. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, No. 23, 158 (2015).
4. *Litsenzuvannia v Ukraini / Za red. A. V. Shashkevych*, 414 p. (Yurinkom Inter, Kyiv, 2005).
5. *Malysheva N. R. Chy varto «derehuliuvaty» sferu kosmichnoi diial'nosti? Publichne pravo*, No. 1, 90—95 (2016).
6. *Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy «Pro zatverdzhennia planu zakhodiv schodo derehuliatsii hospodars'koi diial'nosti» vid 18.03.2015 № 357-r. Uriadovij kur'ier*, No. 75, 24 kvitnia, (2015).
7. *Ukaz Prezydenta Ukrainy «Pro Stratehiu staloho rozvytku «Ukraina — 2020» vid 12.01.2015 № 5/2015. Ofitsijnyj visnyk Prezydenta Ukrainy*, No. 2, 14 (2015).
8. *Scherbyna V. S. Hospodars'ke pravo Ukrainy: Navch. Posib*, 336 p. (Atika, Kyiv, 1999).

Н. Р. Малишева, А. М. Гурова

Институт государства и права им. В. М. Корецкого
Национальной академии наук Украины, Киев

**НОВОВВЕДЕНИЯ В РАЗРЕШИТЕЛЬНОМ
ПОРЯДКЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ОБЪЕКТИВНАЯ
НЕОБХОДИМОСТЬ ИЛИ ДАНЬ ВРЕМЕНИ?**

Анализируются изменения, произошедшие в последние годы в космической отрасли Украины в связи со взятым государством курсом на дерегуляцию хозяйственной деятельности. В частности, критически оценивается отмена лицензирования космической деятельности, поскольку это прямо противоречит нормам международного космического права, идет вразрез с мировой, в т. ч. европейской практикой, а также не отвечает специфике космической деятельности.

Ключевые слова: космическая деятельность, дерегуляция, лицензирование, международное космическое право, национальное космическое законодательство.

N. P. Malysheva, A. M. Hurova

Koretsky Institute of State and Law
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

**NOVATIONS IN PERMISSIVE
PROCEDURE OF SPACE ACTIVITIES:
AN OBJECTIVE NECESSITY
OR A TRIBUTE TO TIME?**

Authors analyze the changes occurred recently in the space sector of Ukraine in connection with the State course to deregulation of economic activities. In particular, there is critically estimated the abolition of licensing of space activities, because it directly contradicts the norms of international space law. It is also contrary to the world practice, including the European one, and does not meet the specific character of space activities.

Key words: space activities, deregulation, licensing, International Space Law, National Space legislation.

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2016.06.045>

УДК 347.85

Н. Р. Юрковська

Одеська обласна державна адміністрація, Одеса

АКТУАЛЬНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ В РАМКАХ ГАРМОНІЗАЦІЇ НАЦІОНАЛЬНОГО ЗАКОНОДАВСТВА З ЄВРОПЕЙСЬКИМ

Сучасні реалії обумовлюють розвиток української науки і техніки, вимагаючи наближення українського законодавства до європейського. Імплементация Угоди про Асоціацію між Україною та ЄС передбачає реалізацію міжнародних норм та співробітництва, зокрема у галузі космонавтики. В роботі запропоновано ключові напрямки космічних досліджень згідно з діючим міжнародним та українським правом.

Ключові слова: розвиток космонавтики, космічне право, Угода про Асоціацію між Україною та ЄС, гармонізація космічного законодавства України з правом ЄС.

Гармонізація українського законодавства з європейським є необхідним кроком на шляху України до Євросоюзу і передбачає виконання нашою державою умов, вказаних в Угоді про асоціацію між Україною та ЄС (далі — Угода). Загальнообов'язкові для усіх країн-членів ЄС законодавчі акти, які встановлюють спільні для всіх цілі. При цьому кожна держава-член розробляє власні закони щодо шляхів їхнього досягнення, імплементуючи директиви на національному рівні. Україна як держава, що не є повноправним членом ЄС, але уклала з ним Угоду, до подання заявки на членство має адаптувати свою правову систему з вимогами права ЄС в напрямках, які чітко сформульовані в Додатках

до Угоди. Для більш детального ознайомлення космічної громадськості України з відповідними напрямами, нижче наведено витяги з Угоди, що стосуються космічної галузі України [13], а також відповідні пункти затвердженого Кабінетом Міністрів України Плану з імплементатії Угоди [12] (пп. 1, 2). У частині третій статті наведено деякі витяги з робіт Н. Р. Малишевої [8—11] та інших науковців [1—5] стосовно відповідних аспектів розвитку української космонавтики та космічного права України.

У четвертій частині статті подано приблизний авторський перелік основних напрямів досліджень, розроблений на основі попередньо розглянутих джерел — Угоди, Плану дій Уряду з його імплементатії, а також теоретичних напрацювань українських науковців в галузі космічного права.

1. РОЗВИТОК КОСМІЧНОЇ ГАЛУЗІ ВІДПОВІДНО ДО УГОДИ ПРО АСОЦІАЦІЮ МІЖ УКРАЇНОЮ ТА ЄС

*Витяг з Угоди про асоціацію Україна — ЄС
[13, Глава 8 «Космос», С. 371—373]*

Стаття 371

1. Сторони сприяють розвитку взаємовигідного співробітництва у сфері цивільних космічних досліджень та використання космічного простору, зокрема на таких напрямках:

- а) глобальні навігаційні супутникові системи;
- б) спостереження Землі та глобальний моніторинг;
- с) космічна наука та дослідження;
- д) прикладні космічні технології, зокрема пускові технології та технології ракетних двигунів.

2. Сторони заохочують та сприяють обміну досвідом щодо політики у галузі космосу, адміністрації та правових аспектів, а також щодо промислової реструктуризації та комерціалізації космічних технологій.

Стаття 372

1. Співробітництво включає обмін інформацією щодо політики та програм Сторін та від-

повідних можливостей для співробітництва і спільних проектів, зокрема участь українських підприємств та організацій у відповідних космічних та транспортних напрямках наступної Рамкової програми ЄС з досліджень та інновацій «Горизонт 2020».

2. Сторони заохочують та підтримують обмін науковцями та створення відповідних мереж.

3. Співробітництво також може включати обмін досвідом у сфері управління космічними дослідженнями та науковими установами, а також створення сприятливих умов проведення досліджень та впровадження нових технологій і належного захисту відповідних прав інтелектуальної, промислової та комерційної власності.

Стаття 373

Постійний діалог відбуватиметься з питань, охоплених Главою 8 Розділу V («Економічне та галузеве співробітництво») цієї Угоди, включаючи у відповідних випадках координацію та співробітництво з Європейським космічним агентством із цих та інших відповідних актуальних тем.

2. ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ УГОДИ ПРО АСОЦІАЦІЮ МІЖ УКРАЇНОЮ ТА ЄС ЗГІДНО З ПЛАНОМ ЗАХОДІВ КМУ НА 2014—2017 РР.

(ВІД 17.09.2014)

Витяг з Плану [12]

Положення Угоди	Розділ (глава) Угоди, найменування заходу	Строк виконання	Відповідальний за виконання (з Української Сторони)	Партнери зі Сторони ЄС
Розділ II. Політичний діалог та реформи, політична асоціація, конвергенція у сфері зовнішньої та безпекової політики				
14	<i>Стаття 7</i> Зовнішня та безпекова політика. Забезпечення подальшої участі України у переговорному процесі щодо підготовки Міжнародного кодексу поведінки в космосі, запропонованого ЄС (згідно з графіком Європейської служби зовнішньої діяльності)	2014 — 2017 рр.	Державне космічне агентство України, Міністерство закордонних справ	Європейська служба зовнішньої діяльності

Положення Угоди	Розділ (глава) Угоди, найменування заходу	Строк виконання	Відповідальний за виконання (з Української Сторони)	Партнери зі Сторони ЄС
Розділ V. Економічне та галузеве співробітництво. Глава 8. Космос				
20	<i>Стаття 371</i> Забезпечення участі у здійсненні заходів з розширення дії супутникових систем функціонального доповнення EGNOS на територію України відповідно до положень Угоди про співробітництво щодо цивільної глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС) між Європейським Співтовариством, його державами-членами та Україною щодо розміщення, введення в дію та забезпечення експлуатації наземних контрольних станцій супутникових навігаційних сигналів у рамках додатка 1 до Угоди про фінансування Рамкової програми на підтримку угод між Україною та ЄС (ENI/2013/024-446)	2014 — 2017 рр.	Державне космічне агентство України	Генеральний директорат Європейської Комісії «Підприємництво і промисловість»
321	<i>Стаття 371</i> Забезпечення участі в реалізації європейського космічного проекту VEGA	2014 — 2017 рр.	Державне космічне агентство України	Генеральний директорат Європейської Комісії «Підприємництво і промисловість», Європейське космічне агентство
322	<i>Стаття 372</i> Забезпечення участі України в реалізації космічних проектів програми ЄС «Горизонт-2020»	2014 — 2017 рр.	Державне космічне агентство України	Генеральний директорат Європейської Комісії «Підприємництво і промисловість»
323	<i>Стаття 373</i> Налагодження практичного співробітництва в рамках Спільної робочої групи Україна-ЄС з питань космосу	2014 — 2017 рр.	Державне космічне агентство України, Міністерство закордонних справ	Ті самі

3. МІЖНАРОДНЕ І НАЦІОНАЛЬНЕ КОСМІЧНЕ ПРАВО (відповідно до [6—11])

4 жовтня 1957 р. — перший в світі запуск штучного супутника Землі, початок освоєння космічного простору. Друга половина XX ст. — з'явилося поняття «космічне право».

Важливі результати XIV сесії Генеральної Асамблеї ООН, що лягли в основу укладених на

початку 1960-х рр. міжнародних договорів з питань використання космічного простору:

— принцип загальної зацікавленості всього людства в розвитку використання космічного простору в мирних цілях;

— спрямованість дослідження і використання космосу на користь держав, незалежно від рівня їхнього економічного та наукового розвитку;

— важливість міжнародного співробітництва в освоєнні та мирному використанні космосу і

пов'язані з цим обов'язки ООН сприяти такому співробітництву.

Джерела міжнародного космічного права (хронологічно):

— Декларація правових принципів діяльності держав з дослідження та використання космічного простору, прийнята Генеральною Асамблеєю ООН 13 грудня 1963 р. (Декларація принципів).

— Договір про принципи діяльності держав з дослідження та використання космічного простору, включаючи Місяць та інші небесні тіла, прийнятий Генеральною Асамблеєю ООН 19 грудня 1966 р. (Договір про космос).

— Угода про рятування космонавтів, повернення космонавтів і повернення об'єктів, запущених у космічний простір, прийнята Генеральною Асамблеєю ООН 19 грудня 1967 р. (Угода про рятування).

— Конвенція про міжнародну відповідальність за шкоду, завдану космічними об'єктами, прийнята Генеральною Асамблеєю ООН 29 листопада 1971 р. (Конвенція про відповідальність).

— Конвенція про реєстрацію об'єктів, що запускаються в космічний простір, прийнята Генеральною Асамблеєю ООН 12 листопада 1974 р. (Конвенція про реєстрацію).

— Угода про діяльність держав на Місяці та інших небесних тілах, прийнята Генеральною Асамблеєю ООН 5 грудня 1979 р. (Угода про Місяць).

Основні проблеми суспільного розвитку, які вирішує космонавтика:

- супутникові телекомунікації,
- глобальні навігаційні супутникові системи,
- дистанційне зондування Землі та космічний моніторинг,
- проблеми природокористування, попередження та ліквідації наслідків стихійних лих,
- інформаційні технології,
- космічна медицина та охорона здоров'я,
- забезпечення державних інтересів у галузі оборони і т. д.

Тенденції, які сформувались у сфері та визначають першочергові завдання сучасної космонавтики:

- перетворення космонавтики на повноцінний сектор економіки,

- комерціалізація найважливіших технологій,
- розвиток ринку космічних послуг,
- створення нового інвестиційного середовища.

Швидке розширення масштабів діяльності приватного сектору в космічній та пов'язаних з нею галузях поряд із розвитком класичних напрямків міжнародного космічного права, вимагає перегляду багатьох його аспектів, зокрема:

- питань державної належності космічних літальних апаратів;
- вирішення проблеми юрисдикції міжнародних космічних проектів та пов'язаної з нею проблеми відповідальності за шкоду у зв'язку із здійсненням космічної діяльності;
- захисту прав інвесторів по відношенню до космічних об'єктів і космічних літальних апаратів;
- охорони довкілля в процесі космічної діяльності;
- забезпечення поєднання міжнародної відповідальності держав з майновою відповідальністю комерційних структур — безпосередніх учасників космічної діяльності, за шкоду, заподіяну довкіллю в результаті такої діяльності;
- впливу комерціалізації та приватизації космічної діяльності на державний сектор послуг у цій галузі;
- створення ефективних механізмів врегулювання спорів, що виникають у сфері космічної діяльності тощо.

Відповідальність за шкоду. Згідно ст. I Конвенції про відповідальність і ст. I Конвенції про реєстрацію «держава, що запускає» — це:

- 1) держава, яка здійснює запуск космічного об'єкта;
- 2) держава, яка організує такий запуск;
- 3) держава, з території якої здійснюється запуск;
- 4) держава, з установок якої він здійснюється.

Проте сьогодні реально запускають не держави, а приватні компанії, які носять, як правило, міжнародний характер; «державою, що запускає» стають кілька держав. Крім того, космічні запуски часто здійснюються з міжнародних вод, а компанія може бути в офшорній зоні (приклад — проект «Морський старт», що є

американо-норвезько-українським консорціумом «Sea Launch», який надає послуги з космічних запусків корисних вантажів з плавучої платформи під ліберійським прапором; консорціум зареєстровано на Кайманових островах, які перебувають під юрисдикцією Великої Британії).

За межами міжнародно-правового регулювання поки що залишається низка аспектів космічної діяльності — важливих питань, загальні засади вирішення яких повинні бути сформульовані на міжнародно-правовому рівні:

- охорона довкілля у процесі використання й дослідження космічного простору;

- регулювання космічного руху набуває зростаючого значення у зв'язку з істотним збільшенням об'єктів, що запускаються в космічний простір, переважна більшість яких продовжує залишатись в космічному просторі після виконання своєї місії, в якості т. з. «космічного сміття»;

- міжнародно-правовий статус самого «космічного сміття» і відповідальність за шкоду, яка може ним завдаватись;

- охорона прав інтелектуальної власності у процесі космічної діяльності;

- багато інших питань.

В Європі у сфері використання космосу є узгоджена стратегія *трьох діючих осіб*: Європейського космічного агентства, Європейського Союзу і держав-членів цих двох організацій.

Європейське космічне агентство (існує від 31.05.1975 р.) має представництва в Тулузі, Вашингтоні, Москві, Балтиморі, Г'юстоні. Персонал, разом із підвідомчими закладами, складає близько 2000 осіб. ЄКА має низку інституційних утворень, пов'язаних із космічною діяльністю, у т. ч.:

- ESTEC (Європейський науково-дослідний центр по Космосу, Нурдвіжк, Нідерланди);

- ESOC (Європейський центр космічних операцій, Дармштадт, Німеччина);

- ESRIN (Європейський інститут космічних досліджень, Фраскаті, Італія);

- EAC (Європейський центр астронавтів, Кельн, Німеччина).

Основні напрями міжнародних відносин ЄКА:

- 1) організація вступу до ЄКА нових членів;

- 2) участь держав, які не є членами ЄКА, в окремих факультативних програмах ЄКА;

- 3) участь ЄКА у діяльності інших міжнародних, у першу чергу європейських організацій.

Деякі держави-члени ЄС прийняли *спеціальне космічне законодавство* (Велика Британія, Швеція, Данія, Франція, Бельгія, Нідерланди), інші мають правове регулювання лише певних аспектів космічної діяльності (напр., Німеччина, Іспанія, Італія — про відшкодування шкоди, спричиненої космічними об'єктами, реєстрацію космічних об'єктів тощо):

- Закон Швеції про космічну діяльність (1982 р.);

- Закон про космічний простір Великої Британії (1986 р.);

- Закон про космічну діяльність Нідерландів (2007 р.);

- Закон Бельгії про діяльність із запусків, управління польотом або керівництва космічними об'єктами (2008 р.);

- Закон Франції про космічні операції (2008 р.);

- Закон ФРН про захист від загрози небезпеки внаслідок розповсюдження даних дистанційного зондування Землі високої якості (Закон про безпеку даних, отримуваних від супутників — SatDSiG).

У нас діє Закон України «Про космічну діяльність» від 15.11.1996 р.

4. НАПРЯМИ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ КОСМОНАВТИКИ ДЛЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ ВИЩИМ НАВЧАЛЬНИМ ЗАКЛАДАМ І НАУКОВО-ДОСЛІДНИМ УСТАНОВАМ УКРАЇНИ

А. Ступінь та перспективи розвитку національного космічного права в різних країнах світу

1. Вирішення теоретичних проблем розвитку міжнародного і національного космічного права на Європейському та національному рівні країн ЄС та США.

2. Відповідність Закону України «Про космічну діяльність» від 15.11.1996 р. міжнародному праву (у т. ч. Статуту ООН, міжнародним договорам, законодавству ЄС).

2. Космонавтика як повноцінний сектор економіки в економічно і науково розвинутих та у відсталих країнах.

4. Питання ефективності та вдосконалення міжнародного космічного права в якості регулятора суспільних відносин.

5. Космічна діяльність як дійовий інструмент забезпечення різнопланових інтересів країн першого світу і розв'язання глобальних проблем людства.

6. Участь України в розвитку міжнародного космічного права.

7. Можливості національного законодавства для вирішення питань розвитку сучасної космонавтики.

В. Міжнародна відповідальність держав за національну діяльність у космічному просторі, включаючи Місяць та інші небесні тіла

8. Проблеми міжнародної відповідальності держав за шкоду, заподіяну в результаті космічної діяльності, та майнової відповідальності її безпосередніх суб'єктів.

9. Регламентация національним космічним правом різних країн державної відповідальності та приватної діяльності.

10. Правове регулювання використання природних ресурсів небесних тіл.

11. Особливості національного регулювання різними державами суб'єктів суспільних відносин космічного права під час перебування в космічному просторі, включаючи Місяць та інші небесні тіла.

12. Особливості відповідальності за порушення законодавства про космічну діяльність в Україні.

С. Вирішення регіональних проблем космічної політики і космічного права у різних країнах світу

13. Невирішені проблеми і проблемні галузі міжнародного космічного права, їхнє охоплення законодавством ЄС та перспективи виходу з кризи.

14. Питання статусу космічного майна і всього комплексу майнових відносин у процесі здійснення космічної діяльності як напрямок

розвитку національного сегменту космічного права та його відповідність міжнародному космічному праву (у т. ч. директивам і рекомендаціям ЄС).

15. Правове забезпечення, перспективи і завдання космічного туризму згідно з космічним та повітряним правом.

16. Шляхи вирішення проблеми відповідальності за заподіяну шкоду та встановлення «держави, що запускає» у космічному праві.

17. Питання можливої розробки єдиної всеосяжної Конвенції з космічного права: переваги та недоліки, перспективи й наслідки утворення і впровадження.

18. Вирішення проблем міжнародного космічного права шляхом кодифікації міжнародного космічного права (за прикладом міжнародного морського права).

19. Сучасні проблеми правового статусу космонавта (астронавта) згідно з національним законодавством космічних держав та з міжнародним космічним правом.

20. Питання правового регулювання охорони життя і здоров'я космонавтів від впливів природних і антропогенних факторів космічного простору на рівні міжнародних договорів і національного законодавства.

21. Правові аспекти дистанційного зондування Землі з космосу на міжнародному та національному рівнях.

22. Проблеми понятійно-термінологічного апарату в космічному праві.

23. Уніфікація космічно-правової термінології для забезпечення одноманітного вживання термінів всіма державами-учасниками як одна з цілей кодифікації міжнародного космічного права.

24. Забезпечення імплементації положень міжнародного права з питань дистанційного зондування Землі з космосу в країнах ЄС (у т.ч. Директиви 96/9/ЕК Європейського Парламенту і Європейської Ради від 11 березня 1996 р. про правову охорону баз даних, Articles 7(1), 10 (1, 2, 3), Recitals 41, 51) — см. [7, 9].

25. Проблеми космічної діяльності і космічного права у країнах пострадянського простору.

Д. Еколого-правові аспекти космічної діяльності

26. Правове забезпечення екологічної безпеки космічної діяльності відповідно до міжнародного та національного права космічних держав (у т. ч. законодавства ЄС, Статуту ООН, документів Європейського космічного агентства та ін.).

27. Правове регулювання охорони навколоземного простору від шкідливих впливів (у т. ч. використання ядерних джерел енергії у космічному просторі, впливу космічного сміття тощо).

28. Особливості та напрями багатостороннього міжнародного і регіонального співробітництва пострадянських держав у сфері космічної діяльності.

Е. Розвиток освіти і науки в галузі космічного права на національному і міжнародному рівнях

29. Законодавство України як інструмент розвитку космічної науки.

30. Міжнародні та національні дослідження у галузі космічних транспортних технологій і наук про космос.

31. Космонавтика як показник рівня науково-технічного потенціалу України і провідних держав світу.

32. Особливості розвитку космічної науки в українських реаліях (економічна криза, хронічне недофінансування, воєнні дії та ін.).

33. Перспективи української космонавтики як науково-технічної діяльності задля забезпечення сталого розвитку держави.

34. Міжнародне і національне регулювання відносин інтелектуальної власності у науково-технічній космічній діяльності.

35. Міжнародний центр космічного права Національної академії наук України (створений у 1998 р.) та його роль у розвитку та реалізації міжнародного та національного космічного права.

36. Науково-технічне і правове забезпечення співробітництва у сфері цивільних космічних досліджень та використання космічного простору, зокрема у таких напрямках: а) глобальні навігаційні супутникові системи; б) спостереження

Землі та глобальний моніторинг; с) космічна наука та дослідження; d) прикладні космічні технології, зокрема пускові технології та технології ракетних двигунів.

37. Правове, економічне та науково-технічне забезпечення участі України в реалізації європейського космічного проекту VEGA 2014 — 2017 рр.

38. Правове, науково-технічне та економічне підґрунтя реалізації Україною космічних проектів програми ЄС «Горизонт-2020».

39. Хід, проблеми та перспективи забезпечення здійснення заходів з розширення дії супутникових систем функціонального доповнення EGNOS на територію України відповідно до положень Угоди про співробітництво щодо цивільної глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС) між Європейським Співтовариством, його державами-членами та Україною щодо розміщення, введення в дію та забезпечення експлуатації наземних контрольних станцій супутникових навігаційних сигналів у рамках додатка 1 до Угоди про фінансування Рамкової програми на підтримку угод між Україною та ЄС (ENI/2013/024-446) 2014 — 2017.

Ф. Правове регулювання космічної діяльності в Україні

40. Правове регулювання вирішення суперечок у сфері космічної діяльності в умовах комерціалізації космічної промисловості в країнах СНД на міжнародному і національному рівнях.

41. Правове забезпечення на міжнародному та національному рівнях розвитку прикладної космонавтики (супутникові телекомунікації, супутникова метеорологія, дистанційне зондування Землі з космосу, супутникова навігація тощо).

42. Європейська космічна політика і право: діяльність Європейського Союзу, Європейського космічного агентства та їхніх держав-членів.

43. Співвідношення космічного права ЄС та його держав-членів.

44. Правове забезпечення спільної діяльності ЄКА та ЄС у галузі космічної діяльності.

45. Правове забезпечення участі України в міжнародних ініціативах щодо космічних досліджень.

**Г. Можливості, специфіка і перспективи
впровадження рекомендацій і директив ЄС
у національне законодавство**

46. Реалізація в Україні міжнародних договорів ООН з питань космічної діяльності (у т. ч. законодавства ЄС, Статуту і договорів ООН і т. д.).

47. Кореляція національного законодавства із міжнародно-правовим регулюванням космічної діяльності. Реалізація положень міжнародних договорів з космосу в українському законодавстві.

48. Відповідність міжнародного права національного правового регулювання діяльності урядових та неурядових юридичних осіб у космічному просторі.

49. Імплементация та розвиток в національному законодавстві норми міжнародного космічного права щодо нагляду держав-учасниць Договору за діяльністю неурядових юридичних осіб у космічному просторі, включаючи Місяць та інші небесні тіла.

50. Проблеми впровадження космічного права у процес вищої освіти в Україні та в інших країнах.

1. Атаманенко Б. А., Редчиць Н. Є. Транспарентність та зміцнення довіри в космосі // Космічна наука і технологія. — 2013. — 19, № 6. — С. 60—69.
2. Атаманенко Б. А., Федонюк Р. В. Міжнародне співробітництво як інструмент участі в глобальних космічних проектах // Космічна наука і технологія. — 2014. — 20, № 3. — С. 3—13.
3. Беглий О. В. Закон України «Про космічну діяльність» і витоки національного космічного права // Космічна наука і технологія. — 1996. — 2, № 3. — С. 13—16.
4. Беглий О. В. Так починалось міжнародне космічне право // Космічна наука і технологія. — 1997. — 3, № 1. — С. 101—102.
5. Беглий О. В., Кудрявченко О. В., Передерій Р. В. Правові проблеми сприяння інвестиціям в космічній галузі України // Космічна наука і технологія. — 1997. — 3, № 3. — С. 10—20.
6. Закон України «Про космічну діяльність»: Науково-практичний коментар / За заг. ред. Н. Р. Малишевої. — К.: Атіка, 2005. — 196 с.
7. Малишева Н. Р. Дистанционное зондирование Земли из космоса: международно-правовое и национальное регулирование // Космическое законодательство стран мира (на русском и английском языках). — К., 2009. — Т. 5. «Дистанционное зондирование Земли».

8. Малишева Н. Р. Космічне право: перспективи розвитку в міжнародному і національному правовому контекстах // Вісник Акад. правових наук України. — 2003. — № 2-3. — С. 335—349.
9. Малишева Н. Р. Нариси з космічного права. — К.: Алерта, 2010. — 296 с.
10. Малишева Н. Р. Розвиток освіти в галузі космічного права: світові та регіональні процеси // Часопис Київ. ун-ту права. — 2010. — № 4. — С. 312—347.
11. Малишева Н. Р. Теоретичні аспекти гармонізації екологічного законодавства // Антологія української юридичної думки. — К., 2005. — Т. 10. — С. 740—761.
12. План заходів з імплементації Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони, на 2014—2017 роки. Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 вересня 2014 р. № 847-р.
13. Угода про Асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. Угоду ратифіковано із заявою Законом № 1678-VII від 16.09.2014. — 282 с.

Стаття надійшла до редакції 06.05.16

REFERENCES

1. Atamanenko B. A., Redchyts N. E. Transparency and confidence-building measures in outer space. *Kosm. nauka tehnol.*, 19 (6), 60—69 (2013).
2. Atamanenko B. A., Fedoniuk R. V. International cooperation as a tool of participation in global space projects. *Kosm. nauka tehnol.*, 20 (3), 3—13 (2014).
3. Beglyi O. V. The Law of Ukraine "On the Space Activity" and sources of the national space law. *Kosm. nauka tehnol.*, 2 (3), 13—16 (1996).
4. Beglyi O. V. To the origins of the international space law. *Kosm. nauka tehnol.*, 3 (1), 101—102 (1997).
5. Beglyi O. V., Kudriavchenko O. V., Perederii R. V. Law problems in the promotion of investments in the space industry and research in Ukraine. *Kosm. nauka tehnol.*, 3 (3), 10—20 (1997).
6. The Law of Ukraine "About kosmichnu diyalnist" Sci.-practical commentary, Ed. by N. R. Malysheva, 196 p. (Atika, Kyiv, 2005) [in Ukrainian].
7. Malysheva N. R. Remote sensing of the Earth from outer space: International-legal and National regulation. *National space legislation of the world: tematicheskoe sobranie*. Vol. 5: Remote sensing of the Earth, 264 p. (Kiev, 2009) [in Russian].
8. Malysheva N. R. Space Law: prospects in the international and national legal context. *Visnyk Akademii pravovih nauk Ukrainy*, No. 2-3, 33—349 (2003) [in Ukrainian].

9. *Malysheva N. R.* Essays on space law, 296 p. (Alerta, Kyiv, 2010) [in Ukrainian].
10. *Malysheva N. R.* Development of Education in Space Law: global and regional processes. *Chasopys Kyi'v. un-tu prava*, No. 4, 312 — 317 (2010) [in Ukrainian].
11. *Malysheva N. R.* Theoretical aspects of harmonization of environmental law. *Anthology of Ukrainian legal thought*, 740—761, — Vol 10. — K., 2005. — pp. [in Ukrainian].
12. The action plan for the implementation of the Association Agreement between Ukraine, on one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, on the other hand, in 2014— 2017 years. Approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine from September 17, 2014. N 847-p. [in Ukrainian].
13. Association Agreement between Ukraine, on one hand, and the European Union, the European Atomic Energy Community and their Member States, on the other side. Agreement was ratified by a statement law number 1678-VII from 16.09.2014. — 282 p. + Applications) [in Ukrainian].

Н. Р. Юрковская

Одесская областная государственная
администрация, Одесса

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ В УКРАИНЕ В РАМКАХ ГАРМОНИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА С ЕВРОПЕЙСКИМ

Современные реалии обуславливают развитие украинской науки и техники, необходимость приближения

украинского законодательства к европейскому. Имплементация Соглашения об Ассоциации между Украиной и ЕС предусматривает реализацию международных норм и сотрудничества, в т. ч. в области космонавтики. В работе предложены ключевые направления космических исследований, согласно с действующим международным и украинским правом.

Ключевые слова: развитие космонавтики, космическое право, Соглашение об Ассоциации между Украиной и ЕС, гармонизация космического законодательства Украины с правом ЕС.

N. R. Jurkowska

Odesa Regional State Administration, Odesa

CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF SPACE INDUSTRY IN UKRAINE UNDER THE HARMONIZATION OF THE NATIONAL LEGISLATION WITH EUROPEAN LAWS

Modern realities determine the development of Ukrainian science and technology and require approximation of Ukrainian legislation to the European one. The implementation of the EU-Ukraine Association Agreement envisages the implementation of international standards and cooperation, including the space sector. In the paper, the key directions of space research are considered, in accordance with the applicable international and Ukrainian law.

Key words: development of astronautics, space law, Association Agreement between the EU and Ukraine, harmonisation of the Ukrainian national space legislation with the EU law.

БІЛОУСОВ Костянтин Георгійович — заступник Головного конструктора і начальника проектно-конструкторського бюро космічних апаратів, систем вимірювання та телекомунікацій Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — ракетно-космічна техніка.

БУШАНСЬКА Олександра Сергіївна — аспірант факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем Дніпропетровського Національного університету імені Олеся Гончара.

Напрямок науки — динаміка, балістика та керування рухом літальних апаратів, оброблення даних ДЗЗ.

ГАЛИЧ Миколай Григорович — інженер відділу антенно-фідерних та НВЧ-пристроїв конструкторського бюро космічних апаратів, систем та комплексів Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — антенно-фідерні пристрої та засоби мікрохвильової техніки.

ГУБАРЄВ В'ячеслав Федорович — завідувач відділу керування динамічними системами Інституту космічних досліджень Національної академії наук України і Державного космічного агентства України, доктор технічних наук, член-кореспондент НАН України, професор.

Напрямок науки — керування динамічними системами.

ГУРОВА А. М. — аспірантка Інституту держави і права ім. В. М. Корецького Національної академії наук України.

Напрямок науки — космічне право.

ДЯЧУК Ірина Дмитрівна — директор Музею космонавтики ім. С. П. Корольова Житомирської обласної ради.

Напрямок науки — історія космонавтики.

МАЛИШЕВА Наталія Рафаїлівна — заступник директора Міжнародного центру космічного права при Інституті держави і права імені В. М. Корецького Національної

академії наук України, академік НАПрН України, доктор юридичних наук, професор, Заслужений юрист України.

Напрямок науки — космічне право.

МАСЛЕЙ Володимир Микитович — Головний конструктор і начальник проектно-конструкторського бюро космічних апаратів, систем вимірювання та телекомунікацій Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля».

Напрямок науки — ракетно-космічна техніка.

МАСЛОВА Анна Іванівна — науковий співробітник відділу системного аналізу та проблем керування Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України, кандидат фізико-математичних наук.

Напрямок науки — динаміка космічних систем та їхня взаємодія з розрідженим середовищем, динаміка твердого тіла, теорія коливань.

МЕЛЬНИЧУК Сергій Вікторович — науковий співробітник відділу керування динамічними системами Національної академії наук України і Державного космічного агентства України, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — керування динамічними системами.

МОЗГОВИЙ Дмитро Костянтинович — доцент факультету фізики, електроніки та комп'ютерних систем Дніпропетровського Національного університету імені Олеся Гончара, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — динаміка, балістика та керування рухом літальних апаратів, оброблення даних ДЗЗ.

ПИРОЖЕНКО Олександр Володимирович — провідний науковий співробітник відділу системного аналізу та проблем керування Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник.

Напрямок науки — динаміка космічних систем, теоретична механіка, теорія коливань, стійкість руху, регулярна та хаотична динаміка, нелінійна механіка.

ХОРОШИЛОВ Віктор Сергійович — начальник розрахунково-теоретичного сектору конструкторського бюро космічних апаратів, систем та комплексів Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», доктор технічних наук, професор, «Заслужений діяч науки і техніки України».

Напрямок науки — динаміка, балістика та керування рухом літальних апаратів

ЮРКОВСЬКА Надія Ростиславівна — інспектор відділу інвестицій в інфраструктурні проекти та будівництво управління залучення, супроводу і моніторингу інвестиційних проектів Департаменту «Агентство з питань інвестицій та розвитку» Одеської обласної державної адміністрації, кандидат технічних наук.

Напрямок науки — космічне право, історія космонавтики.

- Алпатов А. П., Закржевский А. Е., Мерино М., Фоков А. А., Хорошилов С. В., Цихоцкий Ф. Определение силы воздействия факела электрореактивного двигателя на орбитальный объект // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 1. — С. 52—63.
- Анищенко В. М. — див. Тимошенко В. И.
- Асаенко А. В. — див. Шульженко Н. Г.
- Балагура О. А. — див. Бушуев Ф. И.
- Баранов Є. Ю. — див. Калиниченко Д. С.
- Батутина Т. Я. — див. Шульженко Н. Г.
- Белюсов К. Г. — див. Маслей В. Н.
- Бессонов Е. А. — див. Жалило А. А.
- Бурчаков Б. В. — див. Шульженко Н. Г.
- Бушанская А. С. — див. Маслей В. Н.
- Бушуев Ф. И., Калюжный Н. А., Сибирякова Е. С., Шульга А. В., Москаленко С. С., Балагура О. А., Кулишенко В. Ф. Радиотехнический комплекс для определения координат телекоммуникационного геостационарного спутника // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 3. — С. 50—59.
- Вергун Л. Ю., Черняк В. Я., Орловська С. Г., Недибалюк О. А., Соломенко О. В., Попов С. А. Вплив магнітного поля на властивості парафінових палив для двигунів гібридних ракет // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 3. — С. 16—24.
- Воробьева И. А. — див. Дегтярев А. В.
- Галич Н. Г. — див. Маслей В. Н.
- Губарев В. Ф., Мельничук С. В. Комбинаторный метод интервального оценивания ориентации космического аппарата по измерениям астродатчиков // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 6. — С. 10—19.
- Гудрамович В. С. — див. Дегтярев А. В.
- Гурова А. М. — див. Малишева Н. Р.
- Давыденко С. А. — див. Дегтярев А. В.
- Даниев Ю. Ф. — див. Дегтярев А. В.
- Дегтярев А. В., Макаров А. Л., Давыденко С. А., Тихонов В. Л., Лауш А. Г. Астроинерциальная интегрированная навигационная система // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 2. — С. 29—37.
- Дегтярев А. В., Пилипенко О. В., Гудрамович В. С., Сиренко В. Н., Даниев Ю. Ф., Клименко Д. В., Пошивалов В. П. О классификации стартового оборудования ракетно-космических комплексов при обосновании норм прочности // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 1. — С. 3—14.
- Дегтярев А. В., Шептун А. Д., Воробьева И. А. Организация равномерного расхождения группировки малых спутников после отделения и их приемлемого разнесения на этапах последующих сближений // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 3. — С. 25—31.
- Демченко В. А. Проектно-конструкторские аспекты обеспечения безопасности эксплуатации ракет-носителей // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 2. — С. 3—11.
- Дибровный А. В. — див. Кухта А. С.
- Донских А. И. Структура переменности плотности потока квазара 3C273 в радиодиапазоне // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 3. — С. 41—49.
- Дорохов В. Л. — див. Тырнов О. Ф.
- Дрозденко А. С. — див. Левенко А. С.
- Дураченко В. М. — див. Тимошенко В. И.
- Дячук І. Д. Академік Сергій Корольов. «Per aspera ad astra». До 110-річчя з дня народження академіка С. П. Корольова // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 6. — С. 3—9.
- Жалило А. А., Бессонов Е. А., Занимонский Е. М. Сезонно-суточная изменчивость ионосферных задержек сигналов ГНСС и эффективность их компенсации с использованием сетевого дифференциального метода // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 3. — С. 60—75.
- Зайцев Б. Ф. — див. Шульженко Н. Г.
- Закржевский А. Е. — див. Алпатов А. П.
- Занимонский Е. М. — див. Жалило А. А.
- Иванова В. И., Шептун А. Д. Обеспечение максимальной стабильности условий дистанционного зондирования Земли без коррекции орбиты // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 2. — С. 38—47.
- Калиниченко Д. С., Баранов Є. Ю., Полуян М. В. Формування критерію ефективності для вибору проектних параметрів авіаційно-космічної системи // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 2. — С. 48—51.

- Калюжний Н. А. — див. Бушуев Ф. И.
- Кияк Н. Я., Хоркавіч Я. Д. Оцінка окиснювального стресу моху *Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb. залежно від впливу гравітації // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 4. — С. 58—66.
- Клименко В. М. — див. Клименко О. В.
- Клименко Д. В. — див. Дегтярев А. В.
- Клименко Д. В. — див. Шульженко Н. Г.
- Клименко О. В., Клименко В. М. 100 випусків журналу «Космічна наука і технологія»: статистика до роздумів // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 3. — С. 5—8.
- Кнышенко Ю. В. — див. Тимошенко В. И.
- Козак Л. В. Методи і підходи для визначення характеристик турбулентного середовища // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 2. — С. 60—77.
- Козак П. М. Фізична модель руху маломасової метеорної частинки, дотичної до верхніх шарів атмосфери // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 4. — С. 51—57.
- Колос Л. Н. — див. Федоров О. П.
- Крилова Г. Б. — див. Станкевич С. А.
- Кулишенко В. Ф. — див. Бушуев Ф. И.
- Кухта А. С., Дибровний А. В. Обеспечение многократного запуска модернизированной двигательной установки ДУ802 при работе на экологически чистых компонентах топлива // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 3. — С. 9—15.
- Лазученков Д. Н. — див. Шувалов В. А.
- Лауш А. Г. — див. Дегтярев А. В.
- Левенко А. С., Присяжный В. И., Паук О. Л., Дрозденко А. С. Оценка возможности использования полиуретанового топлива в одноступенчатом носителе беспилотного орбитального аппарата для осуществления орбитальных и суборбитальных полетов // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 1. — С. 36—51.
- Лубський М. С. — див. Станкевич С. А.
- Макаров А. Л. — див. Дегтярев А. В.
- Макаров А. Л. — див. Шувалов В. А.
- Малишева Н. Р., Гурова А. М. Новації в дозвільному порядку здійснення космічної діяльності: об'єктивна необхідність чи данина часу? // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 6. — С. 37—44.
- Маслей В. Н., Мозговой Д. К., Белоусов К. Г., Хорошилов В. С., Бушанская А. С., Галич Н. Г. Методика оценки последствий добычи янтаря по многоспектральным спутниковым снимкам // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 6. — С. 26—36.
- Маслова А. И., Пироженко А. В. Изменение орбиты под действием малого постоянного торможения // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 6. — С. 20—25.
- Меланченко А. Г., Синча А. А. Автономное формирование последовательности сеансов наблюдения Земли для маневренного космического аппарата // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 1. — С. 15—19.
- Мельничук С. В. — див. Губарев В. Ф.
- Мерино М. — див. Алпатов А. П.
- Мозговой Д. К. — див. Маслей В. Н.
- Москаленко С. С. — див. Бушуев Ф. И.
- Недибалюк О. А. — див. Вергун Л. Ю.
- Орехов К. Н. Повышение эффективности метеорологических ракет при применении гибридных двигателей // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 2. — С. 52—59.
- Орловська С. Г. — див. Вергун Л. Ю.
- Патон Б. Є. Вступне слово головного редактора до ювілейного випуску журналу // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 3. — С. 3.
- Паук О. Л. — див. Левенко А. С.
- Пилипенко О. В. — див. Дегтярев А. В.
- Пилипчук В. В. — див. Станкевич С. А.
- Пироженко А. В. — див. Маслова А. И.
- Полуян М. В. — див. Калиниченко Д. С.
- Попов С. А. — див. Вергун Л. Ю.
- Пошивалов В. П. — див. Дегтярев А. В.
- Присяжный В. И. — див. Левенко А. С.
- Сабодаш Л. Ю. Вступне слово заступника головного редактора до ювілейного випуску журналу // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 3. — С. 4.
- Самойленко Л. И. — див. Федоров О. П.
- Сибирякова Е. С. — див. Бушуев Ф. И.
- Синча А. А. — див. Меланченко А. Г.
- Сиренко В. Н. — див. Дегтярев А. В.
- Соломенко О. В. — див. Вергун Л. Ю.
- Станкевич С. А., Пилипчук В. В., Лубський М. С., Крилова Г. Б. Оцінка точності визначення температури штучних та природних земних поверхонь за результатами інфрачервоного космічного знімання // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 4. — С. 19—28.
- Сумарук Т. П. — див. Сумарук Ю. П.
- Сумарук Ю. П., Сумарук Т. П. Часові зміни вікових варіацій геомагнітного поля в Європі // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 3. — С. 32—40.
- Тимошенко В. И., Кнышенко Ю. В., Дураченко В. М., Анищенко В. М. Вопросы отработки управляющей жидкостной реактивной системы с питанием из магистралей маршевого двигателя последней ступени ракеты-носителя // Космічна наука і технологія. — 2016. — 22, № 1. — С. 20—35.
- Тихонов В. Л. — див. Дегтярев А. В.

- Ткаченко А. И. Определение ориентации космического аппарата с помощью построителя вертикали // Космічна наука і технологія. — 2016. — **22**, № 3. — С. 22—28.
- Ткаченко А. И. Полетная геометрическая калибровка съемочного комплекса космического аппарата по незадаанным ориентирам без привлечения GPS // Космічна наука і технологія. — 2016. — **22**, № 4. — С. 29—37.
- Тырнов О. Ф., Федоренко Ю. П., Дорохов В. Л. Пространственно-временная динамика перемещающихся ионосферных возмущений // Космічна наука і технологія. — 2016. — **22**, № 5. — С. 3—70.
- Федоренко Ю. П. — див. Тырнов О. Ф.
- Федоров О. П., Самойленко Л. И., Колос Л. Н. О некоторых подходах к оценке эффективности государственных космических программ // Космічна наука і технологія. — 2016. — **22**, № 4. — С. 3—18.
- Фоков А. А. — див. Алпатов А. П.
- Хоркавців Я. Д. — див. Кияк Н. Я.
- Хорошилов С. В. — див. Алпатов А. П.
- Хорошилов В. С. — див. Маслей В. Н.
- Цихоцкий Ф. — див. Алпатов А. П.
- Черняк В. Я. — див. Вергун Л. Ю.
- Шептун А. Д. — див. Дегтярев А. В.
- Шептун А. Д. — див. Иванова В. И.
- Шувалов В. А., Макаров А. Л., Лазученков Д. Н. Идентификация землетрясений по спутниковым измерениям возмущений ионосферной плазмы // Космічна наука і технологія. — 2016. — **22**, № 1. — С. 64—78.
- Шульга А. В. — див. Бушуев Ф. И.
- Шульженко Н. Г., Зайцев Б. Ф., Асаенко А. В., Клименко Д. В., Батутина Т. Я., Бурчаков Б. В. Динамическое контактное взаимодействие адаптеров космической конструкции при разделении // Космічна наука і технологія. — 2016. — **22**, № 2. — С. 12—21.
- Юрковська Н. Р. Актуальні напрямки розвитку космічної галузі України в рамках гармонізації національного законодавства з європейським // Космічна наука і технологія. — 2016. — **22**, № 6. — С. 45—53.
- Kuzkov S. — see Kuzkov V.
- Kuzkov V., Kuzkov S., Sodnik Z. Laser experiments in light cloudiness with the geostationary satellite ARTEMIS // Космічна наука і технологія. — 2016. — **22**, № 4. — С. 38—50.
- Sodnik Z. — see Kuzkov V.